TURING 图灵新知

全彩印刷









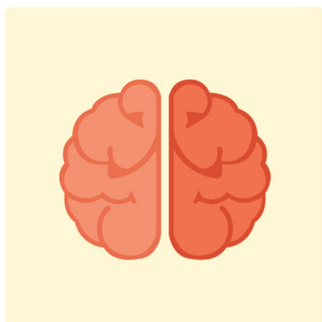
科学也反常

“科学咖啡馆”怪谈

[法] 科学咖啡馆 | 著　王烈 | 译









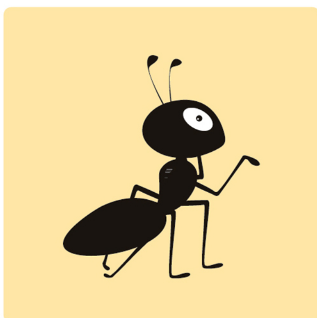
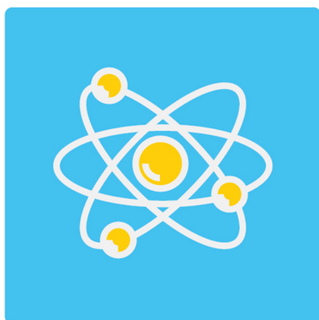


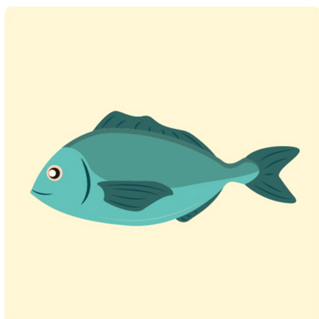
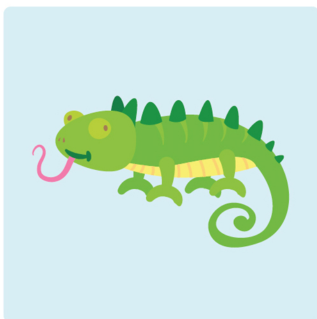
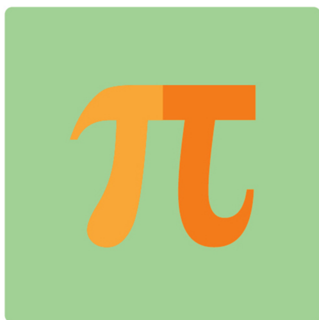
反直觉

意料外

超搞怪

中国工信出版集团　人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS


数字版权声明

科学也反常

“科学咖啡馆”怪谈

[法] 科学咖啡馆 | 著　王烈 | 译





人 民 邮 电 出 版 社

北　京

图书在版编目（CIP）数据

科学也反常：“科学咖啡馆”怪谈 / 法国科学咖啡馆著；王烈译. -- 北京：人民邮电出版社，2018.6
（图灵新知）
ISBN 978-7-115-48361-4

Ⅰ. ①科… Ⅱ. ①法… ②王… Ⅲ. ①科学知识－普及读物 Ⅳ. ①Z228

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第086701号

Originally published in France as: *La science à contrepied*

内 容 提 要

本书汇集了法国科普网站“科学咖啡馆”中广受欢迎的趣味小品文，用幽默的文字和丰富的图画讲述了动物学、生物学、脑科学、数学、计算机科学等领域与日常生活息息相关的小故事。科研工作者在研究中经常遇到的咄咄怪事，不但出乎他们的意料，有的甚至违背了大众的认知，新鲜、有趣却引人深思。

◆ 著　　　　[法] 科学咖啡馆
　译　　　　王　烈
　责任编辑　戴　童
　责任印制　周昇亮
◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路11号
　邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
　网址　http://www.ptpress.com.cn
　北京　　　　　　印刷
◆ 开本：880×1230　1/32
　印张：7.75
　字数：206千字　　　　2018年6月第1版
　印数：1－3 500册　　　2018年6月北京第1次印刷
著作权合同登记号　图字：01-2017-7162号

定价：65.00元

读者服务热线：(010)51095186转600　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315
广告经营许可证：京东工商广登字20170147号



前　言

在很久很久以前……

2006 年，一群科学爱好者开创了一个博客网站，分享他们的爱好，聊聊不足为外人道的话题。那时，博客这种既能互动又不用掌握高深技术的网络社交形式刚刚成熟，在各个领域刮起了一阵新风，从厨艺到文化娱乐，什么内容都有，当然也少不了科学！于是，本着团结一致利用新模式的精神，我们 6 位博主创建了“科学咖啡馆”（Café des sciences），不仅为了互相帮助，也为了给读者提供精心编写的科普知识。虽然我们在法国博客界备感孤单，但我们知道没有回头路可走。要相信，聊科学、分享科学，首先是人类的冒险，也是社会的冒险！ 10 年过去了，有些人已转做其他事情，不再写博客了，但这个活动依然在继续。看博客、写博客已经成为家常便饭。在实验室里，科研人员开一个博客也不再被视为另类之举。在伪科学满天飞、互联网上人云亦云、各种消息以讹传讹的乱象面前，大家都很清楚要“以其人之道还治其人之身”，坚决反对利用无知与蒙昧的伪科学宣传。

那时，我们之中有的是刚刚起步的科研人员，有的是大学生，有的是工程师。今天的“科学咖啡馆”里依然有这三类人，此外还有中学老师，以及（半）职业科普人士加入。我们的同事皮埃尔 · 巴泰勒米是《世界报》的合作科普博主，他将这最后一类人称为“科学摆渡人”。科普记者、科普作家、视频制作者扩充了“科学咖啡馆”的队伍。然而，他们的科普生涯可不是一帆风顺：工作人员来来走走，合同说没就没，项目资助时有

时无，机会可遇而不可求……再加上 YouTube 这类平台“一切向钱看”，只给同意播放广告的内容生产者报酬，而且还得看是否有网民愿意捐款和众筹来支持。但是，大家一直能在我们这个小团体中找到慰藉。我们不是一个人在战斗。大家在“小博客”或“小频道”中付出的巨大劳动不会白费。今天，科学方面的文章作者和漫画作者有时能取得巨大成功，甚至成为大明星。

当今世界的科学博客圈和科研圈都以英语为主流。“科学咖啡馆”就成了顽强存活的“法语小天地”。我们中有人远赴他乡，在英语国家的实验室里工作。但对他们来说，“科学咖啡馆”是个不可多得的机会，可以用母语聊聊科学和自己的研究。而对另一些人来说，这是从“埋头苦干”转向“畅快对话”的大好时光。当然，对所有人而言，重要的是把自己取得的成果告知大众。很快，瑞士、加拿大魁北克地区、比利时等国家和地区的博主都加入了我们的队伍。可惜的是，不知什么原因，至今都没有来自非洲法语区科学家的声音。请你们也赶快来加入我们吧！

科学，将热爱它的人团结在一起。10 年来，我们已经通过自己的方式展示了这一点。这些年我们都做了什么？我们成长壮大了，已有超过 100 名成员，刊登了 1 万多篇博客和播客，做了 4000 多条视频。我们还创建了衍生团体——专门做漫画科普的 Strip Science 和做视频科普的 VidéoSciences，以及给大孩子和小孩子们看的 KidiScience。我们参与或组织了巴黎 VidéoSciences 科普节、里昂“科学节”和瑞士洛桑“科学播客”（Podcast Science）等科普活动。我们站在科学研究机构、文化机构和政府机构身边，共同在网络上捍卫科普运动。我们的故事、我们的初衷被写进了大学的出版物中。我们在媒体前诉说科学之美。现在，又有了你拿在手中的这本书！希望大家继续支持我们，欢迎光临“科学咖啡馆”！

安托万 · 布朗夏尔

“科学咖啡馆”联合创始人，现任网站行政秘书和财务主管

皮埃尔 · 凯尔内

“科学咖啡馆”副主席，2009 年加入

……有一群人在幸福地做着科普!

"我们'科学咖啡馆'出本合集怎么样?"
"要是能在 2016 年出版就好了，正好赶上成立 10 周年！。"
"我们的读者有很多啦。但几百页的书能吸引人吗?"
"我有个疯狂的主意，要不我们玩轮流填空吧！看最终能写出啥?"
"正经点，还是确立一个统一的主题吧。"
"不如更新一下《年度最佳科学博客》吧，也就上、下两册!"

你手中的这本书有三个非同寻常之处。首先是作者的数量。各个领域近 40 位科普作者、科研人员、教师、学生、插画师和纯粹的科学爱好者倾力合作完成了这本书，不管是题目的选择，还是插图呈现的最佳方式，没有什么是自上而下独断决定的，都是大家讨论的结果。很多作者们在真实生活中素未谋面，但也按照学术界通行的"同行评审"（peer-review）原则审读了彼此的文章。第二个不寻常之处是这本书综合了文本、插图、漫画等各种形式，需要专业互补的作者通力合作。如果有可能，希望读者登陆我们的网站，花些时间去看一些视频，有些视频是专为本书而做的。本书最后一个不寻常之处就是它的主题——科学也反常！希望你在书中的所看、所得能让你眼前一亮，彻底改变原来可能持有的错误想法。

有了大家的合作，本来很容易写出一篇激情洋溢的前言："看看，我们一联手，竟能有这样的成果!"但是，所有参与过团队协作的人都知道，实际情况恐怕没这么美好。沟通不畅、消极怠工、组织不利等方面的问题很快就会让团队协作变成一场噩梦。所以，我们一定要感谢 Belin 出版社在这一非同寻常的项目中一直给予的帮助，尤其要感谢编辑洛朗 · 布拉西耶把"做一套博客科普书"这一在脑中盘旋好几年的念头最终付诸实际，还有娜塔莉 · 布鲁斯，她在"邮件轰炸"中依然保持淡定，不介意拖稿，

对特殊情况也能宽大处理，还要处理各种烦心事:“比利时作者，但住在非洲？出版合同能签电子版吗？什么？他居然没有社保号？”

在让我们的作者发声之前，我希望读者在读完本书后能把感想告诉我们。不管你喜不喜欢这本书，我们都会非常高兴倾听你的想法。如果这本书获得成功，第二册中说不定还能用上你的评论。在此祝大家阅读愉快!

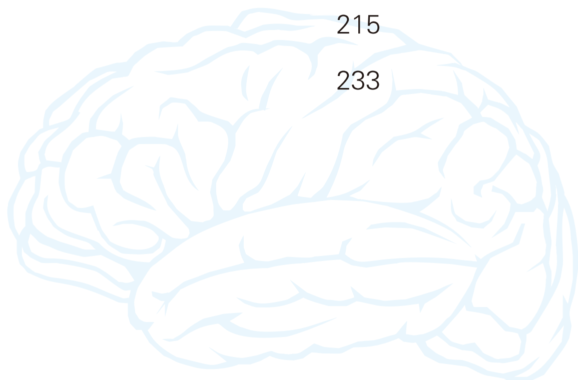
最后提醒诸位，个别文章内容颇为惊人，请大家做好心理准备!

斯特凡·德博弗

“科学咖啡馆”主席



目　录











01 直立进化史：大家都能站起来

人类穿着鞋，直立站着。他们以为双足直立这一特征伴随自己一路披荆斩棘，登上想象中的进化“最高峰”，让他们成为万物之灵。“进化等于进步”，除了这个一直存在的误解外，觉得人类第一个学会直立走路，或是只有人类才会双足直立，或是只在陆地上才有双足直立的动物，或是双足直立就是用脚走路……种种想法其实都是在给自己“使绊儿”，注定要摔跟头！而且，动物双足直立可不是为了能站着欢呼雀跃哦！自以为眼明脚快的人类，一开始就“站错队”的人类，恐怕该不乐意了。让我们回到正题，借此机会把关于“脚丫子”的文字游戏玩个够。

什么是双足直立?

顾名思义，双足直立就是用两只脚站起身来。你或许说，这用脚趾头都能想明白。但如果真这么望文生义，那你就真比脚趾头还傻了。让我们看看《拉鲁斯法语词典》里怎么说的：“双足直立，陆生脊椎动物的动作，只用后两足前行。”这个定义非常狭隘，因为它默认双足直



一“步”史诗

领衔主演：信天翁、章鱼、袋鼠、黄腿侏儒鸟、蛇怪蜥蜴、浣熊、华美极乐鸟、大食蚁兽和沙鼠。

导演：大自然

出品人：进化

立是刻板而永久的动作。我们还是自己定义吧，更简短也更宽泛：“双足直立是靠两肢支撑站立的动作。”一番抓耳挠腮之后，我们打开了几条思路：双足直立用的是哪两肢？这个动作是永久的，还是暂时的？双足直立只用于行走吗？最重要的是，双足直立是想立就能立起来的吗？

傲慢却不自知的双足类，你准备好踏上一段大开眼界的“双足直立”之旅了吗？准备好把自己的成见一脚踢开了吗？还没有？！那请你拔腿就跑吧。准备好了，我们就开始！

暂时双足直立

如果双足直立不是为了行走，那么动物们是出于什么稀奇古怪的理由非要站起来呢？诗人可能要失望了：它们站起来可不是为了离星空更近一点。动物们有脚踏实地的原因——不想饿肚子。奇特的反刍动物长颈羚生活在“非洲之角”。它们在争夺美味槐树叶的激烈竞争中不甘落后，于是踮起脚尖，像优美、娴熟的芭蕾舞者一样，直着身子去够最高处的树叶，同时还用上了长舌头。长颈羚四脚着地时一般不超过 1 米，直起身来却能轻易够到 3 米高的叶子。很少有反刍动物的直立能力可与它们一较高下。长颈羚甚至能以这种姿势走上几步，从一个树枝转到另一个树枝接着吃。

但是，要站起来又不会让脚受累，脚最好是平的。跖行动物就是这样，它们的脚通常有 5 趾，而且能展开，让全脚掌着地，所以直立时更舒服。你不知道什么动物是跖行动物？让我“趾”点你一下……哦，不，是指点你一下：兔子、老鼠、浣熊、黄鼠狼、臭鼬、刺猬还有松鼠都是跖行动物。松鼠吃食的时候会在“座椅”——如树桩、石头等上站着，以便提早发现捕食者，否则一旦被抓，两脚一蹬就玩完



了。所以，直立给弱小动物提供了一点优势——它们的头高了，视野就更广。谨小慎微的跖行动物中最出名的当然是猫鼬。它们轮流“站”岗，几个哨兵直立起来，监视着南非半沙漠的平原，好让族群里其他猫鼬可以放松下来，专心干别的事。

双足直立不仅形成了高度上的优势，还能把两只前爪解放出来拿东西。无论对想要慢慢品尝松果的“美食家”来说，还是对吃食之前一定要把食物都洗一遍的“疯子”来说，这可太实用了。浣熊和海狸就能用双脚走一小会儿，好让双手去忙别的事，在搬运食物或窝里的物件时，这非常关键。

但是，跖行动物的脚也不全是优点。与用蹄子走路的蹄行动物或者用脚趾走路的趾行动物相比，跖行动物总是拖着腿，根本跑不快。它们的脚爪有更多的骨头和关节，通常更短、更重，限制了行动速度。为了补偿这一缺陷，它们最好能迅速躲进树丛里，或者长得身强体壮。在能做到这一点的动物中，最厉害的就算是熊了，它们可不是头

重脚轻的家伙。熊腿要承受平均 120 千克重的肌肉和脂肪，脚软可不行。美国新泽西州有一只野生黑熊名叫“佩朵”，它经常用两只后腿漫不经心地走着，令人称奇。其实，这是因为这只可怜的熊前爪受了伤。祝它早日康复！①

熊通常以四脚行走，有时站起来是为了够到高处的食物，就和长颈羚一样，而有时却是为了在战斗中给对手造成更大的伤害。大食蚁兽连美洲豹、美洲狮都不惧怕，它们直立起来也是为了这个目的。大食蚁兽骄傲地站起来，好像在说：“来啊，来打我啊！”如果对方还不识趣，它们就会用平常挖蚁穴的利爪把这胆敢来犯的冒失鬼抓个遍体鳞伤。

直立还有其他想不到的好处。比如，雌性大食蚁兽站起来就不是为了打斗，而是为了完成一项比打斗还血腥的活动——分娩。它们用强有力的尾巴支撑着身体，站直起来生孩子。幼崽一旦出生，就会爬到妈妈背上待 6 到 9 个月，脚趾张开形如扇子。直立还是许多动物最喜欢的交配体位：豪猪在寻欢作乐时还是站着比较好，这样不容易被扎到……

臭鼬因肛门腺分泌物的强烈气味而臭名昭著。它们还会玩杂技，倒立起来，将令人作呕的“喷头”对准敌人，而这件秘密武器精准得可怕。如果要把肛门朝天，用后脚站着怎么行得通？所以，臭鼬会以前爪支撑身体倒立。这样一来，分泌物很轻易就能喷到对方，而身体竖起后，顺便还能让对方清楚看见它背上可怕的黑白条纹。这种“恫吓之舞”非常管用，捕食者看到了就会夹着尾巴扭头逃跑。

① 令人悲伤的是，佩朵在 2016 年竟然惨遭射杀。——译者注



除了那只前爪受伤的熊，上述例子其实都不涉及行走问题。然而，仅在哺乳动物中，我们就可以找到许多能直立行走的物种。穿山甲就是一种主要以后足行进的跖行哺乳动物。这说明，双足直立行走是哺乳动物在进化过程中多次、分别获得的特征，是所谓"趋同演化"的结果——人类知道这个或许也没什么用。

不过，双足行进并不仅限于"走"。许多动物用双足奔跑，比如好几种蜥蜴。斑马尾蜥蜴以此减少与滚烫沙子的接触。鬣蜥甚至比大部分人类跑得都快，其奔跑速度纪录是 34.6 千米每小时，而博尔特在 2009 年柏林田径世锦赛上跑到了 44.64 千米每小时，实在没什么好夸耀的。

水中双足直立

为什么要把双足直立限于在陆地上走或跑呢？皇冠鬣蜥属从不担心沼泽太深踩不到底，因为它们能轻而易举地在沼泽的水上奔跑。秘密就在于步伐技巧，共分为三个动作：首先用脚踩水，使脚下形成一

个气泡；然后向后划，推动前进；最后，在气泡消失前，快速把脚收回来。蛇怪蜥蜴每步的间隔时间极短，大约在 70 毫秒，而其自重很轻，成年后仅有 100 克，同时，其后脚接触面积又大，在 5 平方厘米左右。因此，蛇怪蜥蜴才能以 5 千米每小时的速度玩“水上漂”，这和人类的平均行走速度一样。难怪蛇怪蜥蜴通常被称为“耶稣蜥蜴”。如果我们也想像这种蜥蜴一样玩“水上漂”，得跑到 100 千米每小时的速度！而这种蜥蜴完全不需要游泳就能踏上河对岸……

在海底同样也能行进。但那里有没有长脚的动物呢？海底双足类动物不多，因为大部分水生动物都生有多足，比如甲壳类、海蠕虫和八腕目。可是，八腕目中就藏着不为人知的水下双足直立动物。太平洋中有两种章鱼类生物，即条纹蛸和刺断腕蛸就会“双足行走”，它们用 2 条触腕移动，而其他 6 条触腕位于头上。这两种生物的移动方式还不太一样，条纹蛸的 6 条触腕都保持在身体周围，而刺断腕蛸更“招摇”，会把 4 条侧腕伸开。这两种方式其实都是伪装，第一种假装是随波逐流的椰子，第二种假装是在洋流中摇摆的海藻，这样就可以偷偷开溜了。

永久双足直立

说了这么多暂时双足直立的例子，读者肯定以为我们是在钻空子。确实，说到双足直立，一般都应该指始终保持站立姿势，仅用两脚在陆地上行走的情况。在这个范围内，人类难道不是最厉害、最美、最强、最聪明的吗？并不是。

我们举个大家都知道的简单例子——袋鼠。它们以 4 爪和尾巴为支撑前进和跳跃，两条后腿就像弹簧一样。它们的行动速度可快可慢，闲逛时只有 20 至 30 千米每小时，逃命时可达 50 至 60 千米每

小时，最高速度甚至达到 90 千米每小时。它们的跳跃能力更令人叹为观止，可跳出 13 米远、3.5 米高。当然，具体数值与袋鼠的种类有关。但这已经很厉害了，不是吗？而且，袋鼠可是永久地双足直立，依靠连续跳动前进。稍微研究一下袋鼠的解剖结果，我们就会发现袋鼠和人类一样都是跖行动物，以脚掌站立。袋鼠和人类的脚都由三部分组成，即跗骨（脚跟）、跖骨（足弓）和趾骨（脚趾），只是袋鼠的跖骨长得多。

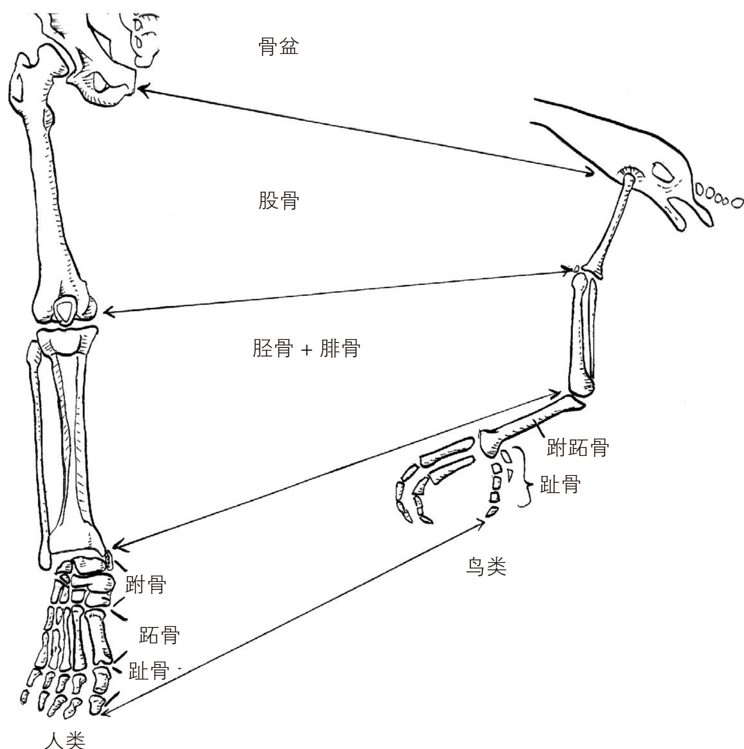
大家总算承认了袋鼠可以双足直立。但这会不会是个例外？当然不是。再以跳鼠为例。这种小型啮齿动物属于跳鼠科，这一科还包括蹶鼠等脚特别长、善于跳跃的老鼠。跳鼠最像迷你版的袋鼠。非洲和亚洲的沙漠中有 30 多种跳鼠。我们仅以非洲跳鼠为例，它又叫“草原跳鼠”或“埃及跳鼠”。

知道吗？跳鼠（Jerboa）这个词来自阿拉伯语 jarbū，意为“腿”。跳鼠后爪很长，有 3 个脚趾，这是因为其跖骨非常长，和袋鼠一样，因此它能跳出 2 米多远。这可不简单，要知道跳鼠的身体仅有 10 至 15 厘米长！它跑起来能达到 24 千米每小时，用长达 15 至 25 厘米的尾巴保持平衡——就和袋鼠……好吧，大家都明白了——其后爪还覆盖着一层“丝”，防止打滑。这的确是一种双足直立、以后腿行进的动物，不管是跑还是跳。跳鼠用前爪进食、清洁、打洞。鉴于沙漠里的特殊环境，跳鼠主要在晚上活动，白天呆在更凉爽的洞底，那里只有 25℃。在公元前 3000 年的古埃及也能找到这种动物的踪迹，古埃及象形文字中表示“快”的字符就借鉴了跳鼠的样子。

现在该说说鸟类了。什么？稍等一下！鸟类长着喙，扇着翅膀飞，浑身都是羽毛，确实一直都用脚直立站着。谁也没见过鸟类用“四肢”行走，因为它们的两个前肢是翅膀啊！但是，翅膀也不一定就用来飞行，比如因步履轻盈而出名的鸵鸟，还有南极的企鹅，它们因特别的

“翅膀”而非常善于游泳。

更妙的是，所有鸟类毫无例外都是用后腿站着的！要知道，鸟类一共有 1 万多种，总数达 2000 亿至 4000 亿只。这可是一类数目庞大的两足动物，是人类数量的 40 至 60 倍。鸟类是两足动物，但属于趾行动物。鸟类与人类还有一处不同：它们的跗骨和跖骨长在一起，形成了一块我们没有的新骨头——跗跖骨。所以，鸟类看起来是膝盖的部分其实是脚踝。更进一步说，它们的膝盖藏在羽毛之下，而且是弯曲的，并通过一小段水平股骨与髋关节相连。膝盖和踝骨之间是胫骨，其作用相当于我们的大腿骨。最后，鸟类的踝骨和趾骨之间是人类没有的跗跖骨。



讲到这里，人类自以为独占的双足直立神坛已经不那么牢固了。再说一件更打击人的事：鸟类不仅能双足直立，还有着不一样的直立方式——当然，这是从行进方式的角度而言。人类用双足运动的方式都一样——走、跑、跳，但鸟类却根据种类不同各有各的方式。看看它们的爪子就知道了。很多陆地鸟类只有向前的三趾，又短又宽，非常适合奔跑；有的鸟类则有很长的脚爪，可以在浅水中涉水，甚至在水生植物上行走；有些鹦鹉两趾向前、两趾向后，善于爬树；鸭子等会游泳的鸟类则生有蹼状爪子；鸽子能走，麻雀和喜鹊会双脚跳，鸵鸟和鸸鹋则善于奔跑。

更厉害的是，鸟类双足直立的历史已有好几百万年了，可以一直追溯到其祖先——兽脚亚目恐龙。这类恐龙基本上都是肉食性的，大小各异，既有 40 厘米长、150 克重的手盗龙，也有 12 米长、6 吨重的霸王龙。但它们都是双足直立，用后肢支撑身体并行进，且前肢很小，有活动的爪子，应该是用于抓住并撕碎猎物。这类恐龙出现于 2.3 亿至 2.25 亿年前的早三叠世，并在晚侏罗纪时期征服了所有大洲，但在 6500 万年前的白垩纪第三纪灭绝事件中遭到灭顶之灾。所有恐龙都消失了，除了一些兽脚亚目的后裔——有人认为手盗龙并未灭绝，但这有待考证。你可以把自己养的小鸡、小鸭视为曾经称霸世界的小恐龙了！

（伪）结论

怎么样，你是不是顿时没那么自大了？双足直立远不是人类独有的特长。而且，有动物学研究表明，某些物种也会使用工具、传递知识，还能创造出或简单或复杂的语言。当然，人类在这些方面仍是无与伦比的，但也并非天下唯一。所以，人类不可一世的态度完全没有道理！

我们只是漫长历史的产物，不可想象的事已经发生过，不可思议的事尚未到来。几百万年来，生物与不断兴起又继而消亡的环境进行了无数次的互动，这才造就了今天的我们。无视这一点就是搬起石头砸自己的脚！让我们稍稍改编一下王尔德的名言，作为这一章的结束语："人类把自己看得太了不起了。穴居人如果会倒立，历史本会是另一种样子。"①

① 王尔德在《道连·格雷》中写道："人类把自己看得太了不起了。这是世界的原罪。穴居人如果会笑，历史本会是另一种样子。"——译者注





02

拯救寄生虫

寄生虫，这些狡猾的生物靠剥削其他生物为生，攫取宿主营养，甚至导致其死亡。对许多人来说，这些害人精是头号公敌。为了人类的健康，为了家畜茁壮成长，为了庄稼的丰收，一定要将其消灭干净！其实，其他生物也会带来死亡，但名声却一点不受影响。海豚、瓢虫、北极熊这些捕食者都颇受人类喜爱。大家觉得，这些生物的杀戮行为在生态系统中至关重要。为什么对寄生虫就不能一视同仁呢？

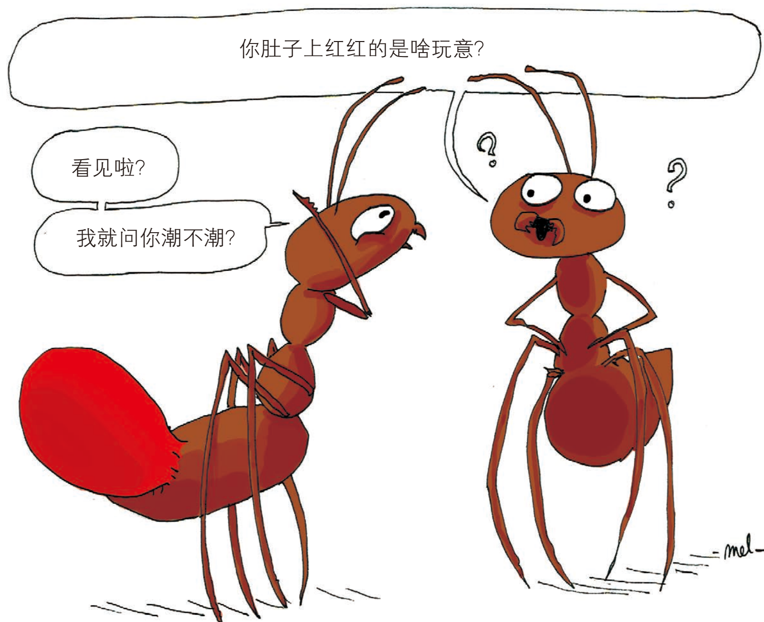
据估算，寄生虫可能占地球物种的一半，另一半都是它们的宿主。寄生虫虽然无处不在，但它们的作用却曾经长期被人类忽视，就连科学界也一样，只因为寄生虫的大小相对于宿主来说实在太微不足道了。但最终，另一种观点逐渐出现了：寄生虫并非无足轻重。人们在研究中发现，这些生物展现出移山倒海的能力。的确，寄生虫会带来可怕的疾病，但如果一概而论，反而会适得其反！人们已经发现，有些寄生虫在整个生态系统中起着非常重要的作用。有些研究者甚至认为，一个生态系统中如果有丰富的寄生虫，则说明这个系统很健康！

让我们转换角度，是时候关注寄生虫好的一面了，它们默默担负起无数工作。我们就来看看寄生虫三个隐秘的天赋。

丰富食物网

寄生虫的第一个天赋就是丰富食物网。以蚂蚁窝为例，蚂蚁们围绕着自己的窝干着日常工作。工蚁们忙着寻找食物，并未发觉有一种奇怪的现象正在它们之中发生。在这些来来往往的成群的小黑点中，有些蚂蚁外形奇异，显得十分突出。它们的腹部有一个红色小泡，好像浆果一样。这些蚂蚁好像对自己与众不同的外表十分自豪，将红色小泡高高举起，在一群蚂蚁中特别显眼。

这是什么造成的呢？这是一种长度不足 1 毫米的线虫类寄生虫，俗称“浆果制造者”。和许多其他寄生虫一样，这种寄生虫也有复杂的生命周期，也就是说，要先后经过好几个宿主才能发育并繁殖。“浆果



制造者"的宿主是蚂蚁和鸟类。它为了传播繁育，就要想办法让蚂蚁被鸟吃掉。可是，它要瞄准的鸟类只吃果子，不吃虫子。这就有点棘手了！不过寄生虫也会见招拆招，鸟要吃果子，那就给它果子嘛……这类线虫属于能操控宿主的一类。为达到目的，它能改变宿主的行为和外表，将其变成实实在在的傀儡。蚂蚁宿主的腹部看起来和诱人的浆果一模一样，这就为寄生虫进入鸟类宿主的身体铺平了道路。而且，为避免节外生枝，被感染的蚂蚁比普通蚂蚁的攻击性小，病变的腹部也可以轻易从身体剥离。不过，这说起来挺厉害，但对生态系统的好处倒不大，只不过为鸟儿意外提供了蛋白质。

寄生虫主要对捕食者会有意想不到的贡献。很多寄生虫都能操控宿主。在大部分情况下，它们让自己在成长阶段寄生的中间宿主变得容易被在它们繁殖阶段寄生的最终宿主捕食。这种变化大受捕食者的欢迎——觅食不再困难了！寄生虫影响的可能不只是其生命周期牵涉的物种，有时候，它们甚至能成为濒危物种的救星。

让我们换个场景，把目光转向日本的森林。林中有一条小河穿过，一只蝗虫来到河边，好像观察了一下面前这片水有多危险，然后纵身跳入河中。

一切都要从这只蝗虫吃了另一只昆虫——蜉蝣说起。不巧的是，幼虫期的蜉蝣在水里被一种线虫类寄生虫感染了。更不巧的是，蜉蝣蜕壳上岸后就被蝗虫吃掉，把寄生虫传给了蝗虫。这个转变对寄生虫来说非常合适，它将宿主的营养搜刮干净，安静地长大。但这种寄生虫要有水才能繁殖……这也不难，它能继续操控宿主，所以它想要什么，宿主自然而然就会去找什么。于是，蝗虫疯了似地四处找水，找到水源就一跃而入。

很难说这对大自然到底有什么好处，但对蝗虫来说的确是一场悲剧：长达几十厘米的线虫从它的肛门钻出，任它在水中挣扎。然而，

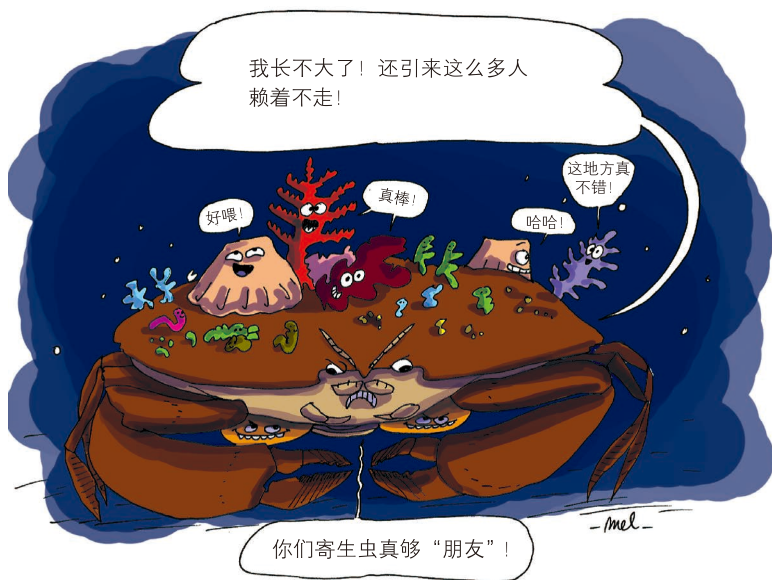
这种寄生虫完成了一件了不起的事：它把昆虫带到了水中。有上百只寄生虫，就有上百只昆虫从森林进入河水。这种生物质的迁移非常重要，会产生巨大的影响。已有研究人员对此做了更细致的考察。

在同一地区的河里还生活着一种鳟鱼，学名日本红点鲑，因人类过度捕捞和栖息地遭破坏而沦为濒危物种。寄生虫让蝗虫跳入水中，这对河里包括日本红点鲑在内的各种捕食者来说，都是送上门的美食！研究人员表示，被寄生、被捕食的蝗虫占鱼类每年摄入食物量的 60%。这一比重不容小觑，甚至能为物种提供足够的食物帮助其种族延续。实际上，研究人员已经指出，日本红点鲑摄入的食物量直接取决于周围环境中线形虫的多少。

线形虫的作用不止于此。蝗虫在水中垂死挣扎时，成了易于捕食的猎物，鱼类会放弃已适应水下环境而更难捕捉的水生猎物。于是，某些昆虫的幼虫需在水中生长，它们就逃过一劫，有更多机会上岸。更多的蜉蝣和蜻蜓完成变态，从河中进入森林，继而为陆生动物提供食物。因为有了蝗虫，河里的生态系统被打乱，水生无脊椎动物得到了喘息的机会，导致水藻消耗量增加，其生物质减少。结果，河里甚至整个森林的食物网都因为一种寄生虫的存在而改变了，尚在幼虫期的寄生虫能做出这样的壮举，真是十分厉害啊！

创造新的栖息环境

让我们再看看寄生虫的第二种天赋。有些寄生虫能创造或改变栖息地，称得上是生态系统工程师。蟹奴就是其中一种。它自己也是甲壳类，寄生在螃蟹身上，在宿主身上引起许多副作用，比如令其无法繁殖，而最重要的是，让螃蟹不再蜕壳。螃蟹蜕壳时不仅会变大，还会摆脱虫类和贝类等大量寄居在壳上的生物体，也就是所谓的体表寄



生物。寄生虫阻止螃蟹蜕壳，把螃蟹变成了"长期居所"，让许多其他寄生物也能在壳上生长。

有时候，创建栖息地的能力也来自寄生虫操控宿主的能力。孩子们在海滩上捡的那种白色带条纹贝壳原本是双壳类软体动物的保护壳，它们藏在沙里躲避捕食者的攻击。这对寄生在它们身上的吸虫类来说，就不太方便了，因为吸虫类最终要进入鸟类身体。于是，吸虫类就附着在宿主用来挖沙的足部上。这样一来，宿主就不再动弹，只能任由鸟类捕食。贝壳被固定后，随着潮汐时而变干、时而变湿，也就为帽贝等其他体表寄生物提供了新的栖息地。有了吸虫类寄生虫，这些地区的生物甚至更多样了，这和大家认为"寄生虫只会带来破坏"的一贯想法相去甚远！

平衡物种

最后，正如捕食者能控制猎物种群数量一样，寄生虫也能控制宿主或相关生命体的数量。

比如，吸虫类不仅把双壳类固定，从而为帽贝提供了新栖息地，还解决了与海葵由来已久的争端。海葵也需要附着在岩石等硬物上才能生长，经常与帽贝挤在一处。这对帽贝很不利，因为海葵会捕食它们。而海葵对干涸特别敏感，更喜欢一直被水浸没的地方。在吸虫类的作用下，帽贝就可以生长在双壳类的壳上，避开了海葵。

另外，就像捕食者有偏爱的猎物一样，寄生虫也会以不同比例感染好几类物种。有研究表明，如果两个物种互相竞争、争夺资源，寄生虫对占上风的物种影响更大，比如对其致死率更高。这样，居于劣势的物种便得以在竞争环境中生存下去。一种小型淡水虾——钩虾便是如此。欧洲的河流中，钩虾既是猎物也是捕食者，同时还是碎屑食

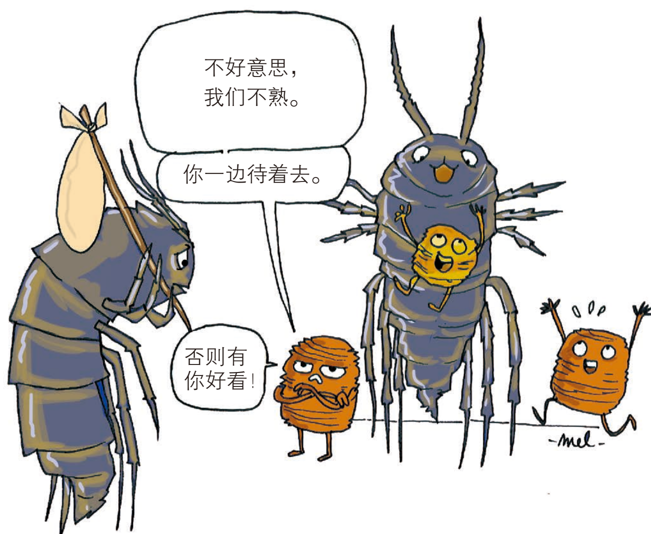


棘头虫呈鲜艳的橘黄色，个头相对宿主也较大，达毫米级，能通过钩虾的外壳看到

© Sophie Labaude

者，保证了居住环境的清洁。在爱尔兰，一种入侵的钩虾面对本地钩虾逐渐占了上风，引起河里其他无脊椎动物种群数量的巨大改变。这主要是因为外来钩虾以本地钩虾为食！钩虾也是好几类棘头虫的宿主，而其中一类能减少外来入侵者对本地钩虾的捕食。只要水中有这些棘头虫，我们就能永远看到两种钩虾，而且它们对钩虾数量的影响十分显著。寄生虫让两个物种并存，减缓了物种入侵的速度。

寄生虫被普遍认为是防止物种入侵的一道屏障。进入新环境的物种要面对无数寄生虫，却没有任何防备，而本地物种却有。比如，居住在北美地区的白尾鹿就受其寄生虫的保护。这是一种学名为薄副鹿圆线虫的线虫。白尾鹿允许这种寄生虫存在于自己体内，如果其他鹿科动物想入侵其居住地，都会以失败告终，因为寄生虫能让入侵者产生严重的神经系统障碍。谁会想到寄生虫还能当保镖呢！



结论

人类的肉眼很难见到寄生虫。很多寄生虫不为人类所接受，早已臭名昭著。但是，它们与宿主的关系密切，因此必然是生态系统的组成部分。越来越多的科学家认为，寄生虫在许多生物系统中都起着至关重要的作用。不幸的是，寄生虫是首先受到物种灭绝影响的生物之一。它们通常需要经过好几个宿主才能发育成熟并繁殖，只要一种宿主从其环境中消失，它们的生命周期就被打断了。也许，是时候想想该怎么拯救寄生虫，而不是想着怎么消灭它们了。







03

杀婴的血腥真相



小动物好可爱！这些迷人的生灵或长着羽毛，或满身绒毛，或鳞片覆体，它们生活在茂密的丛林中，在宁静的乡村里，在灼热的沙漠中，它们嬉戏打闹，时而楚楚可怜，时而美丽脱俗，十分讨喜。在各大视频网站上，水獭玩石头、小熊猫滑雪的视频广受欢迎。

但是，在可人的小脸和翻来滚去的笨拙动作背后，有些动物其实非常残酷、血腥，甚至连同类的幼崽都杀。不相信？觉得是撒谎、造谣、无稽之谈？那就往下看吧。

非洲狮的杀婴行为曾被广泛研究过，我们先以此为例。

非洲狮群居而生，这在猫科动物中极为罕见。非洲狮族群大小不一，平均每群有十几头狮子，包括 4 到 5 头成年雌狮、3 到 4 头未成年狮、2 到 3 只幼崽以及 1 到 2 头成年雄师。雌狮之间基本都有亲属关系，如姐妹、母女、姨妈和侄女等，而雄师则来自族群外。族群内的雄师在 3 岁半左右成熟，当它们可能夺取首领地位时，就要离开族群，去寻找诗和远方。雌狮负责打猎、抚养幼崽、守卫领地，基本把活儿都干了。但是，要生下调皮可爱的小毛球，还是需要雄狮服务一下。幸好，雄狮对这件事还挺上心——其实它也就干这一件事，与族

群中每头雌狮都要睡一睡，于是所有幼崽都得管它叫爸爸。当前看来，一切还算顺利。

但有时候也会有新鲜血液加入。其他族群的年轻雄狮也想找个归宿，也想有领地可守，有漂亮的母狮可追。于是，它们就要和领导族群的雄狮决斗，而后者因为年事已高，大腹便便，通常都打不过年轻雄狮，于是被从王位上被踢下来。雌狮接受了改朝换代，继续打猎、抚养幼崽、守卫领地。但是，这时族群中的幼崽都是雌狮和上一任首



“现在我们可以生个宝宝了……”

领所生的……新来的雄狮也想生育幼崽，但现有幼崽没有继承它的基因。况且雌狮当着全职妈妈，无心和新来的雄狮寻欢作乐。于是，该发生的还是发生了。尽管雌狮十分小心，新来的雄狮还是找到了幼崽，并把它们都杀了。狮子杀狮子，同类相残！这一举动看起来"反自然"，人类以为动物都会"争取物种存续"，但事实完全背道而驰。这种对物种繁衍十分不利的行为怎么能代代相传呢？不是应该被自然选择消灭吗？

非也！物种存续只是进化论的次要部分。动物会争取整个物种的存续，这是个错误的概念！唯一重要的是个体的繁殖。如果某种行为对个体有利，那它即便对整个物种有害也无所谓，依然会在种群中传播开来，因为有此行为的个体会繁殖更多的后代，其基因传播得也更广。

这就提出了另一个问题：杀婴到底有什么好处呢？

对狮群来说，杀婴主要有两个好处：一是幼崽死后，雌狮很快又能生育，雄狮便能在被打败之前迅速与之交配；二是雄狮只杀其他雄狮的幼崽，所以，能减少几个月或几年后非己血脉对自身地位产生的威胁[①]。

因为这些好处，杀婴的比不杀婴的雄狮有更多后代。但我们要记得，动物可没有太多心计，它们并不是主观预谋这么干，其大部分行为都写在了基因里！反正，你明白杀害弱小幼崽等攻击行为是代代相传的就行了。杀婴的动物产下的幼崽在成年后会做出同样的事情，因为其基因决定了它们会有这样的行为。"坏"雄狮会杀其他雄狮的幼

① 要知道，一般来说，生崽就是给自己制造未来的竞争者。但因为同出一脉，所以从进化角度来看，繁殖在某种程度上还是有益的。随着时间流逝，幼崽想继续被抚养，但父母却想保留资源活命，并生出更多幼崽，冲突就产生了。解决办法通常是把即将成年（吃太多）的幼崽逐出族群。狮子的世界里可容不下"啃老族"！

崽，比“好”雄狮更多地传播基因。于是，经过一代又一代，杀婴狮子的比例越来越高，直至普及整个物种，虽然从整体角度看，这个行为似乎是有害的。

所以，杀同类幼崽的行为在自然界十分普遍，这也就不足为怪了。许多在“进化树”上相距甚远的动物，比如蛙类、灵长类、海鸥、老鼠都表现出这一行为。在少数雄性领导一群雌性的物种中，杀婴行为更容易发生。狮子、海豚、斑马（准确地说是海角山斑马）、河马、冠海豹、家猫[①]等都是如此。据观察，如果族群中雄性偏少（1 个雄性对 2.5 个以上的雌性），就会发生杀婴行为。如果雌雄比例较为均等（1 个雄性对 1.3 个以下的雌性），这种事情就不会发生。人人都有伴，何苦脏了手呢？如果雄性不想占有所有雌性，竞争就不会那么激烈，雄性也就不用想着杀、杀、杀了。履行一夫一妻制的物种会形成长期的



“这孩子还来不来啊？”

① 被骗了吧，猫咪可没有看起来那么可爱。

伴侣关系，它们不会杀婴，因为雄性可以肯定幼崽是自己的后代，完全没有理由大开杀戒。

决定物种是否杀婴还有另一个因素，就是繁殖周期。说得更准确些，就是雌性两次妊娠之间的时间。如果雄性要等 1 年，雌性才能再次生育，那杀婴也没什么好处。结果，雌性发情越频繁、越规律，其雄性伴侣杀死幼崽的可能性就越大，因为雌性很快就能再次生育，满足雄性的需求。研究人员考察了 97 种有杀婴行为的哺乳动物，发现一年繁殖一次以上的物种中 76% 有杀婴行为。总之，如果某一物种的族群中雌性数量多过雄性，且仅有占领导地位的几个雄性能与雌性交配，同时，雄性的统治时间较短，而雌性产崽后很快能再次生育，那么这一物种就容易发生雄性杀婴的情况。

雌性又该如何呢？自己怀胎数月，耗费许多气力才产下的心头肉就这样被杀死了，不伤心吗？

它们当然伤心了。雌性追求的利益与雄性不一样，这就是所谓的两性冲突。自然选择也作用于雌性，如果基因让它们反抗杀婴的雄性，它们就会有更多后代活到成年，继续繁衍。所以，勇于反抗的雌性的基因比逆来顺受的雌性的基因在后代中更普遍存在。随着代代相传，雌性对杀婴行为的反抗也会蔓延开来。

雌性可以采取好几种策略防止自己的孩子被杀。首先，可以联合其他雌性，或者包含雄性与雌性在内的一个群体，共同反抗想要夺权的外来雄性——抵御入侵，也就保护了幼崽。雌狮也有桀骜不驯的时候！另一种策略是多找几个性伴侣。如果雌性在短期内同时和好几个雄性交配，那么雄性就无法确定到底谁才是孩儿他爸。如果杀婴，很可能会错杀自己的后代！在这种繁殖模式下，不杀婴的雄性的基因传播最广。群居动物通常采用这种办法，比如马达加斯加的一种小型夜行狐猴——倭狐猴，还有倭黑猩猩。最后，雌性即便有孕在身，也还



柔情万种的马达加斯加之夜

可以假装发情——已经怀了某个雄性的孩子还能和新来的雄性交配。如果雄性算术不好的话，就会以为生出的孩子是自己的，那也就不会杀婴了。叶猴便是如此。这些猴子长着金色的毛和黑色的脑袋，大群大群地霸占着印度的城市和神庙。

到现在，我们一直说的是雄性杀婴。那雌性会不会也杀婴呢？回答是肯定的，但罕见得多。我们看到，雄性杀婴是为了得到雌性“资源”，而雌性杀婴是为了得到其他更多的资源。

第一个资源就是雄性。不仅雄性有选择配偶的权力，雌性也想找个能帮她照看孩子的“暖男”。有时候，雌性甚至生完孩子就不管了，把活儿都交给爸爸！南美洲有一种长爪水鸟——肉垂水雉便是如此，它们采用一妻多夫的繁殖形式。雄性成了“奶爸”，要孵蛋，还要照顾小水雉。所有雌性都争着要找个好伴侣，生出漂亮的孩子，更重要的是，这个伴侣还要会照顾孩子！因此，雌性为达目的甚至不惜打破其他水雉的鸟蛋，或杀死雏鸟。



"不要脸！""第三者！""你俩别打了行不行……"

第二个资源是食物。如果雌性的居住范围有限，食物资源不多，那么杀死其他"张嘴等喂"的小东西就对自己有利，至少能保证自己的孩子活下去。在我们的近亲黑猩猩身上就能观察到，族群内某些雌性会杀死外来雌性的幼崽。研究人员发现，这是因为它们觉得资源可能会短缺。雌性象海豹也一样，会毫不手软地杀死孤儿。失去双亲的象海豹必须像《雾都孤儿》中的奥利弗·特威斯特一样，要靠别的母亲领养才能活下去。但象海豹可不来这一套，蹭饭者一概消灭。

第三个资源是喂养。在集体养育后代的物种中，比如老鼠，杀死别人的后代，自己的后代就会得到更多的喂养。失去后代的雌性依然会慷慨地喂养剩下的幼崽，包括杀婴雌性的幼崽。

第四个资源是巢穴和领地。有时雌性也会争抢领地或筑巢地等资源。一种"可爱"的美国穴居小松鼠——贝氏地松鼠就是这样，雌性

会杀死邻居家的幼崽，使其绝后，以便占领其巢穴。

要知道，处于被统治地位的雌性如果看见自己的幼崽被其他雌性杀死，也会奋起反抗，采取一些利于自己幼崽存活的措施，比如让自己与占统治地位雌性的产崽时间同步。缟獴就是如此。这样一来，所有幼崽都在同一时间出生，雌性首领分不清哪些是自己的孩子，也就不会杀婴了——小家伙们都手脚乱动、嗷嗷乱叫，岁数还一样，看起来就是同一个呗！

还没说完！海豚和狮子虽然看起来“笑意盈盈”，但都是冷血杀手。憨态可掬的旱獭和松鼠也一样。迪士尼骗了我们，电影《狮子王》中的坏蛋叔叔“刀疤”如果再狡猾点，就会毫不犹豫地把侄子辛巴杀死，然后立刻去追求辛巴的妈妈，并生下自己的后代。动物的世界也不全是黑暗……互助、合作、共存在大自然中是存在的，但是，只有当这么做能繁殖更多后代时，团结友爱的基因才会一代代传下去。在茂密的森林中，在舒适的巢穴里，在闪光的海面下，生活就是这样，至少现在你已经了解了。

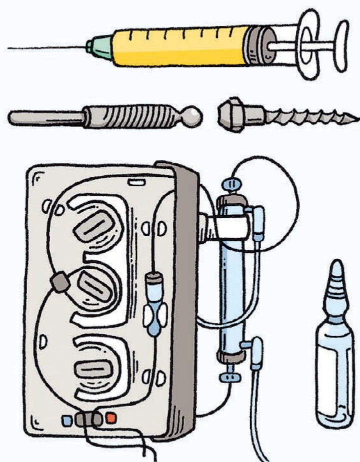


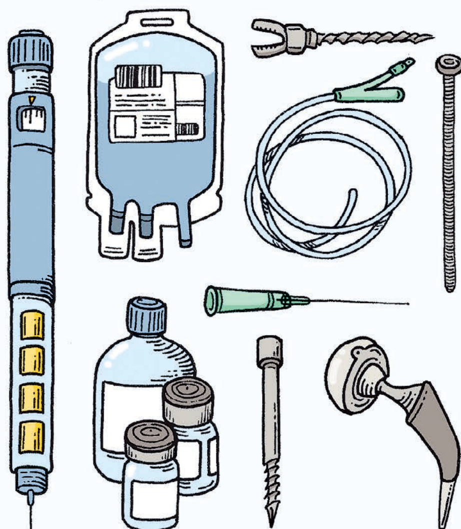


04

救命的蓝血

疫苗、激素、麻醉剂、假体、化疗、输血和透析材料……
所有这些产品和设备都是现代医学的骄傲，它们每天都在提高人们的生活质量，拯救生命。





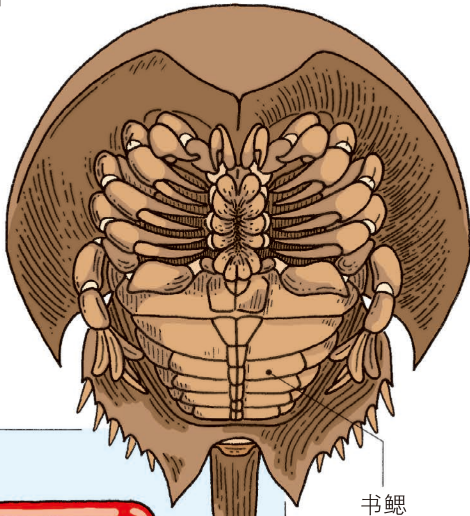
它们还有别的共同点吗？有。如果没有某种海洋无脊椎动物及其乳状蓝血的贡献，那就不可能有这些东西出售。

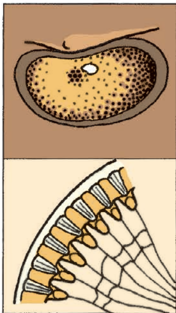
这种动物是蝎子和蜘蛛的远亲，现存动物中与三叶虫亲缘关系最近的就是它：

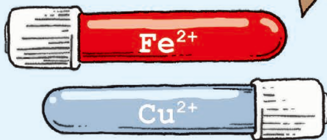
鲎

现存 4 种，分布在美洲和亚洲的海岸。

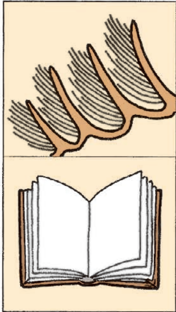


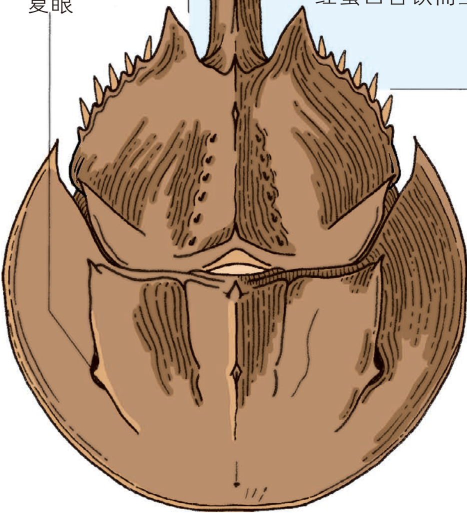


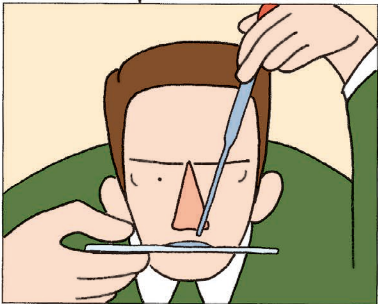




它们的血（应该叫血淋巴）呈蓝色，因其血蓝蛋白含有铜离子，正如我们的血因血红蛋白含铁而呈红色。

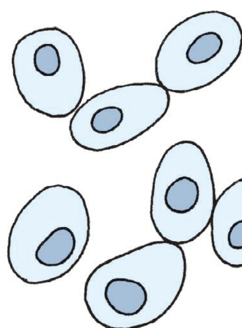


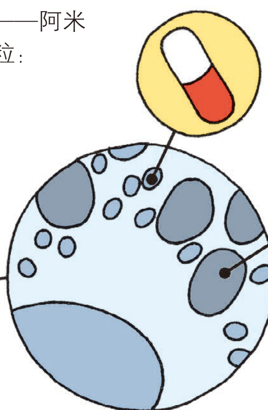




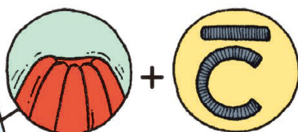
但细胞生物学和分子生物学研究的不仅是它的颜色，还有它出众的免疫特性。

鲎的血含有特殊的免疫细胞——阿米巴样细胞，细胞里有 2 种颗粒：





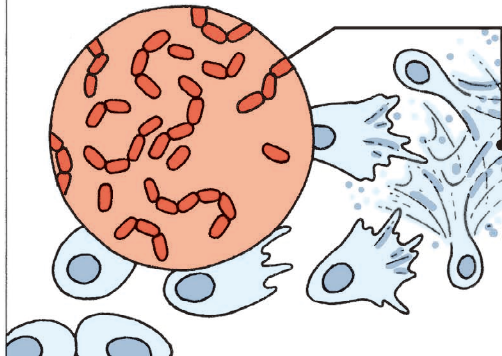
小颗粒含有抗生素类防御分子……

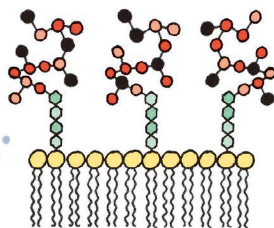


大颗粒含有胶凝剂和一种极为重要的蛋白质：

C 因子

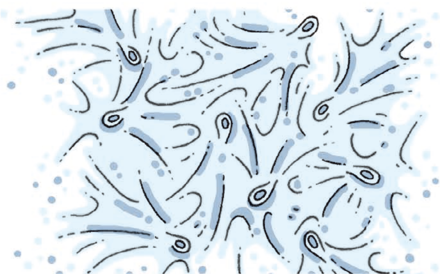
如果某些细菌进入血液循环，阿米巴样细胞就会改变形态，释放内含物，称为“脱粒”。





这时，C 因子会认出细菌表面被称为“内毒素”的特征分子，引发一连串极快的化学反应。

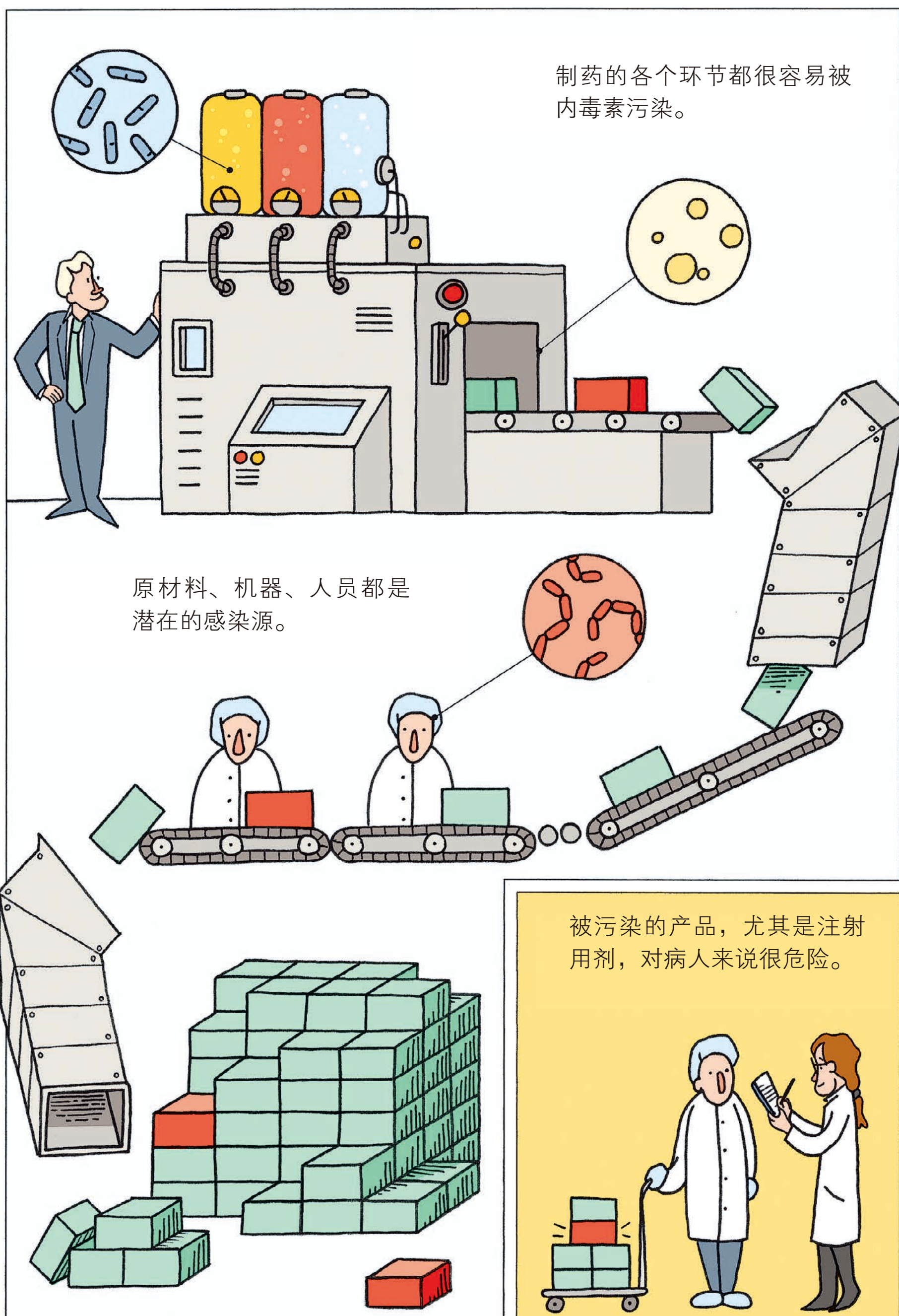
不到 90 秒，颗粒就会凝结，阿米巴样细胞粘在细菌周围。



细菌被困在浸透了抗生素分子的胶状血块内，失去了攻击性。

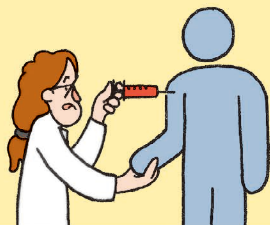
这一发现很快吸引了医生们和制药业的注意，生物界的奇观变成了不可或缺的实际应用。
原因就是……

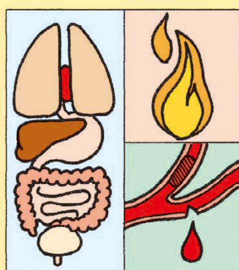


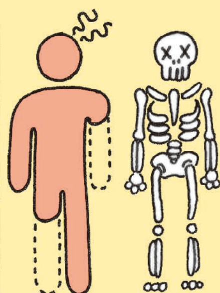

制药的各个环节都很容易被
内毒素污染。
原材料、机器、人员都是
潜在的感染源。
被污染的产品，尤其是注射
用剂，对病人来说很危险。

因为我们的血和鲎不一样，不能迅速阻断细菌入侵，细菌就可能引起严重的感染，甚至是

感染性休克





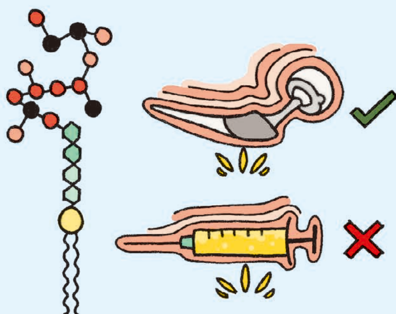


全身性炎症，发热，血栓、大出血，内脏损伤……发病急，后果通常很严重。

还有一个问题是：内毒素的分子结构非常稳定，大部分消毒方式对它无效，而且细菌死后会释放内毒素，造成更多伤害。



特殊化学处理或长时间高温加热可去除内毒素，但对许多产品并不适用。

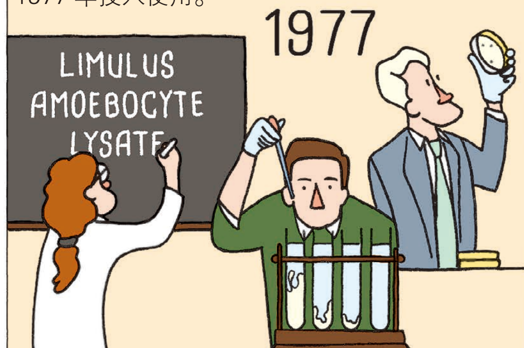


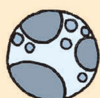
如果不能消灭威胁，至少要能检测出来吧？所以就有了家兔热原检查（发明于 1942 年）。



但这种检查又慢又贵，还不准确，远非理想手段。

在发现了鲎阿米巴样细胞的特性后，人们研发出一种更经济可靠的检测方法——鲎试验法，并在 1977 年投入使用。







完整颗粒　C 因子





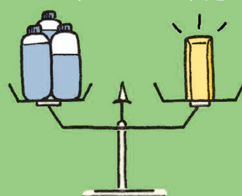
这种检测一开始依靠凝结反应，后改善为比色，敏感度提升 100 倍。

今天，医药监管部门规定，所有可能接触血液的产品和设备都必须进行内毒素检测。



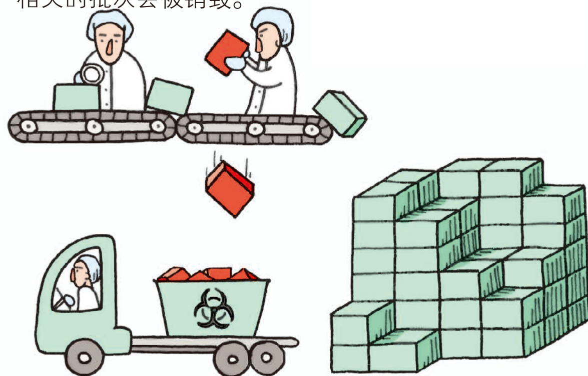
这一规定让鲎试剂的市场大增，销售额达每年 5000 万美元。

2.85 升　1 千克



而鲎血更是卖到每升 1.5 万美元，约是黄金价格的 1/3。

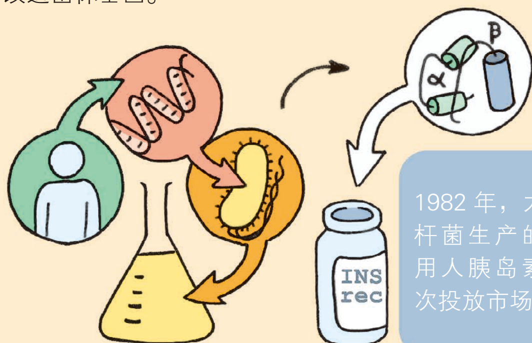
但这检测很管用，哪怕很微量的污染也能检测出来，相关的批次会被销毁。



医生可以确信所开的药品是安全的。



研究者可研发出更多药品，尤其是通过改造菌株基因。



1982 年，大肠杆菌生产的医用人胰岛素首次投放市场。

制药业当然乐此不疲。



总之，大家都开心。

只不过，虽然技术进步了，但鲎血依然是生产鲎试剂不可缺少的原材料。



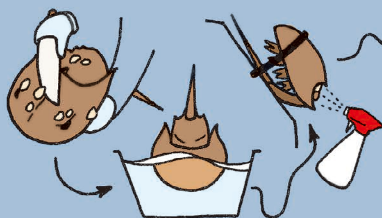
鲎很难人工养殖，只能在其栖息地捕捞，然后穿刺取血。





首先从运输开始。

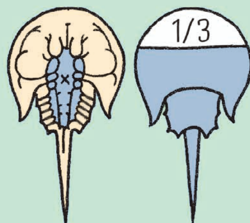
然后刮净外壳、清洗、消毒、用绷带固定……

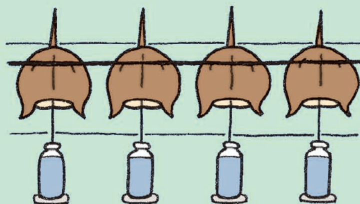




再用针刺入头胸部和腹部的接合处取血……

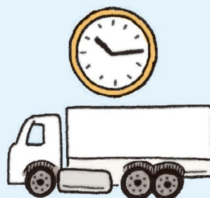
也就是说，直接刺入相当于心脏的背部主血管。





在此条件下，每只鲎要被取走总血量的 1/3。

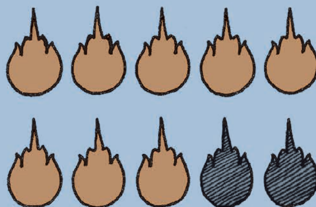
最后被运回捕捞地放归。



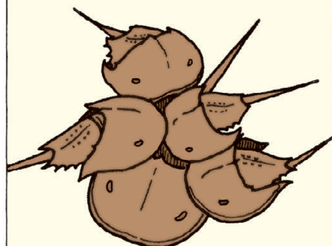
前后加起来，鲎要离水长达 3 日。



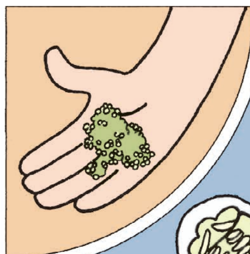
这对鲎来说压力很大。研究表明，放归的鲎中有 10% 至 30% 因取血死亡。

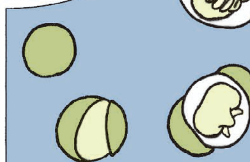


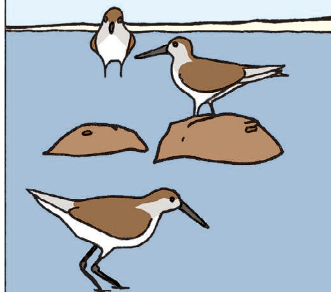

在美洲海岸，每年有 50 万只鲎被捕捞，主要在繁殖季节。
在此期间，以潮汐和日夜为节律，成年鲎成群聚集在沙滩上。


这对鲎血市场可算飞来横财，但对这个物种就是大难临头。
被取过血的鲎筋疲力尽，晕头转向，费很大劲才能回到族群中，因此繁殖量更少。


虽然 2006 年出台了一些保护措施，但捕捞量仍在上升，鲎的数量不停下降。




雪上加霜的是，鲎的生命周期漫长，要 10 年才能性成熟。


它们还会被捕食……


被当成鱼饵……


甚至成为人们的盘中餐，有些人会烹煮其卵，直接盛在其外壳中上桌。



渔业压力减小



有些团队研制出人工鱼饵用于捕捞鳗鱼和蛾螺。

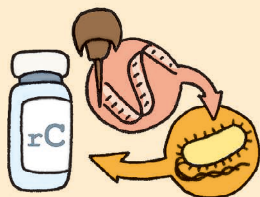


不用鲎也能生产鲎试剂

研究团队分离出 C 因子的对应基因，在实验室中生产 C 因子。



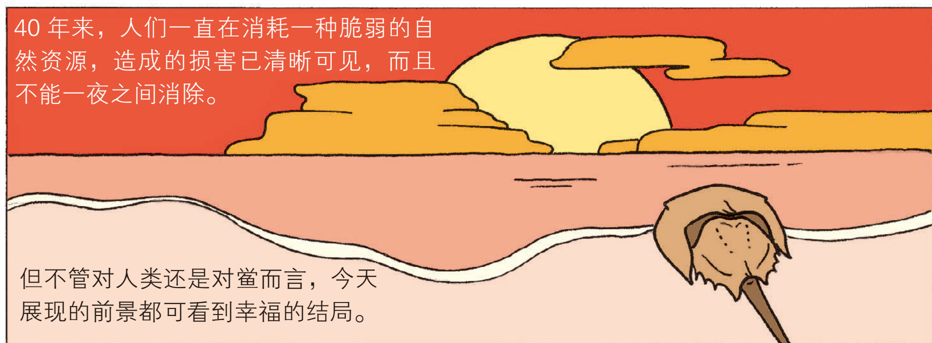
（和 1982 年制造胰岛素的技术一样。）



防止污染

最后，一种新研制出来的大肠杆菌突变菌株可保证没有内毒素，业内可更安全地培养细菌。







05

蚁巢不分上下级

有人喜欢毛茸茸的哺乳动物，有人羡慕自在翱翔的鸟类，也有人关注昆虫。有一种昆虫格外受人青睐，那就是既令人惊叹又让人好奇的蚂蚁。

蚂蚁社会以高度分工的社会结构而闻名：忙碌的工蚁、牙尖齿利的兵蚁，当然还有蚁巢的中心——蚁后。令人称叹而又疑惑的是，如



此小的生物竟能做出如此大的事情。它们微若尘埃，却能在地下建出庞大的城市，令人类建筑师汗颜；它们生命脆弱，却能毫无畏惧地投入残酷的战斗中，而且深谙兵法；它们智力有限，却会使用工具解决复杂的问题。蚂蚁因此而强大。现有 12 000 多种蚂蚁分布在除南极洲之外的所有大陆上，从撒哈拉沙漠、最深的地洞到群山之巅，在最不可能出现生命的地方都有它们的身影。

这种不可思议的“成功”让人想起另一个物种——他们比蚂蚁大，也在世界各地留下了足迹，那就是人类。蚂蚁社会与人类社会的相似之处让许多学者、政治家和作家把蚂蚁社会视为人类社会的迷你版。但是，蚂蚁与我们之间有一个巨大差别：它们的社会完全不分上下级！蚁巢中没有任何自上而下的统治，没有指挥中心，没有管理任务分配的上下级关系。大家普遍相信，蚁后在集中化和劳力分配中起着决定性作用，但这种想法完全错了。另外就个体而言，蚂蚁并不机灵。贝尔纳·韦伯的小说《蚂蚁帝国三部曲》把它们描写成清醒、智慧、理性的个体，有时甚至带有哲思，但事实远非如此。单独一只蚂蚁肯定不能按照蚁巢的整体需求综合复杂的信息，更不可能形成抽象思维。个体能力有限，对自己的所作所为既无清楚意识，也不知目的为何，然而团结起来却能成就卓越的功绩！这是怎么做到的？

没有神仙，也没有主人，团结就是力量

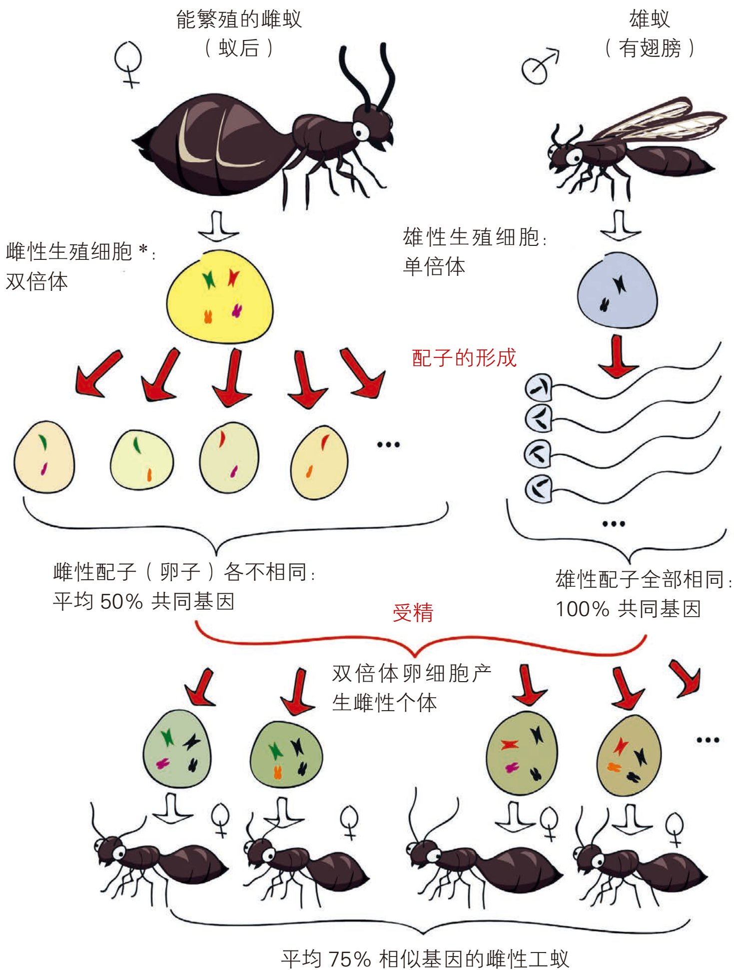
蚂蚁获得成功的第一个因素是团结。蚁巢中所有个体万众一心，不可思议地团结。大家分享食物、轮流站岗、保卫家园，个体的牺牲和奉献是这些小虫子的日常。蚁巢中只有处于结构顶点的蚁后能繁殖，其他蚂蚁都为它服务、照顾它、宠爱它。这看似奇怪，甚至有点反自然。不用深入研究也能发现，自然界每个生物大都在为自己的生存而

自私地斗争着，因为要优胜劣汰啊！那么，为什么要毫无保留地为别人奉献？为什么在每个紧要关头都要为滋养一个从未见过面的个体而冒生命危险？最重要的是，成千上万的工蚁和兵蚁为什么不自己繁殖，而要把“生命的圣杯”留给蚁后？

几十年来，科学家们一直试图解释进化中为何出现了如此高尚的“利他主义”，却都徒劳无功。在 1964 年一个晴朗的日子里，英国生物学家威廉·D. 汉密尔顿提出了第一个站得住脚的解释。他说，自然选择会保留同一物种个体之间的利他主义，只要个体间亲缘关系紧密就行，也就是说，利他的前提是个体有许多共同基因。“亲属选择”理论就此诞生。

你会说：“很好，但这和蚂蚁有什么关系？”我们再仔细看看。通常情况下，蚁巢就是一个大家族，有唯一的蚁后，在交配期和雄蚁交配受孕，繁殖出其他所有蚂蚁。蚁后存在的唯一理由就是产卵。而这些卵孵化出几千甚至几百万工蚁和兵蚁，忙碌地维持着蚁巢的正常运转。在这种情况下，所有社会成员——工蚁和兵蚁——都是姐妹……但它们是异常亲密的姐妹，这是因为蚂蚁有一种奇特的遗传特性。人类男性和女性都是“二倍体”，也就是说，每个人都有成对的染色体，一半来自母亲，一半来自父亲。最著名的例子就是性别染色体，男孩为 XY，女孩为 XX。于是在人类身上，同一家庭孩子的基因相似率平均为 50%，因为每个人都随机继承了父母各一半的基因。而雄蚁来自未受精的卵，只有一套染色体，称为“单倍体”，传给所有后代的基因都一模一样。蚁后是“二倍体”，随机把 50% 的基因传给后代。简而言之，一个蚁巢的蚂蚁们有 75% 的共同基因（如果你还没懂，请参考下页图）。这个比例很高！如果工蚁也能和雄蚁交配繁殖后代的话，代际基因还不如同代基因相近。总之，从基因角度看，蚁巢的成员竭力保证蚁后的安康和集体的成功，对基因传承是非常有利的，比独来独

往要好得多。我们观察到的“利他主义”行为，实际上还是“自私基因”的产物。



亲属选择。因为个体基因相近，蚁巢才能保持社会团结

* 生殖细胞：能形成配子的细胞

基因相近是引发蚁巢中利他行为的基本因素。但一个新问题出现了：同一个蚁巢中的蚂蚁如何相认呢？如果把同种不同巢的蚂蚁放在洞口，它还来不及逃跑就会被工蚁嚼得粉碎。蚁巢成员有一种无形的辨识码——体表的信息素。每种蚂蚁都有自己的信息素组合，与其他种不同。而在同一种中，不同蚁巢的信息素组合的相对含量也不同。这些味道是基因相近的个体合成出来的，有共同的基础，能被同蚁巢所有个体轻易认出。所以，蚂蚁不必认识自己巢里的每位成员，也能知道某只蚂蚁是否属于自己的家族——闻闻就行！这会让边境管控更加简单。

这还不是全部。每只蚂蚁的气味受其年龄和环境的影响。这意味着，蚂蚁的职能不同，气味也会不同。待在巢中看管蚁卵的保姆蚁和在蚁巢外的树丛中站岗的兵蚁就有不一样的气味。研究者表示，不同的气味可用来识别蚂蚁的职能，让其他蚂蚁采取合适的行动。淘气的蚂蚁学家把从未出过蚁巢的保姆蚁放在洞口，不久，它就被征战归来的兵蚁强行拖回巢中！虽然职责不同气味就不同，但蚁巢了里十分拥挤，集体清洁、交哺（嘴对嘴分享胃里的东西，只要对方不是大胃王，这种方法还是挺好的）会导致身体频繁接触。所以，不同职能的蚂蚁还是要认得出“自己人”才行。个体气味的微妙区别与整体的相同达成了精细的平衡，蚁巢才得以维持秩序，协调内部安排。

你去哪儿，我去哪儿

弄清了蚂蚁成功的第一个要素，现在来看看它们如何完成寻找、搜集食物等复杂任务。走出巢穴后，似乎每只蚂蚁都知道自己要干什么、去哪里，既不需要导航，也不需要地图。但如上文所说，其实它们中绝大部分对自己要做的事一无所知。一切都从几只蚂蚁开始：它

们离开蚁巢，去寻找食物和筑巢用的材料。这些“打头阵”的蚂蚁像童话里的“小拇指”一样。它们依靠肛门附近的杜福氏腺分泌出信息素，在身后留下一条气味的印迹。有了这条印迹，蚂蚁不管走到哪里，都能找到回巢的路。如果一只蚂蚁发现了可口的食物，比如浆果或多汁的昆虫，就会兴奋地在回程路上留下不一样的信息素。正是这种新气味吸引了周围其他蚂蚁。这种现象称为“征召”。附近的蚂蚁在几秒内就被动员起来，努力把新找到的食物运回蚁巢。征召来的蚂蚁也会留下信号，“一传十，十传百”，直到把食物运完。搬运结束后才赶到的蚂蚁就不会留下任何印迹。这样一来，信息素就会因为没有补充而自然挥发掉，动员也就结束了。更有意思的是，蚂蚁还能根据找到的食物好不好吃、有没有营养而调整化学信号。在距离蚁巢一样近的两个不同地方滴下两滴糖水，在糖水浓度高的一边，蚂蚁留下的气味印迹更能吸引同伴。蚂蚁看似在两者之间做出了明智的取舍。

蚂蚁似乎还能选出 A 点（如蚁巢）到 B 点（如水源或食物）之间的最短路线。选择机制很简单：在探路的蚂蚁中，走最短路线的蚂蚁肯定比其他同伴能更快地回到蚁巢。因此，最短路线比其他路线的气味更大，后来的蚂蚁会沿着气味最大的路线走，因而又加强了这条路上的气味。另外，信息素有挥发性，很快就会消失，较长路线上的信息素在还没被其他蚂蚁感知时就很快消失了。最后，只剩下最短线路。这种找路办法简单而有效，让蚂蚁节省了宝贵的能量和时间。遗憾的是，简单的办法有时会导致严重的错误，比如南美行军蚁就会原地打转。这些“森林流浪者”眼神不好，而且习惯于成千上万地集体行动，形成一条庞大的队伍。观察者会惊奇地发现一些巨大的旋涡，周长达几十米甚至上百米。落单的蚂蚁绕着同一点打转，直到力尽而亡！这种反常的行动可能由一只蚂蚁而起：它出了错，偶然绕到了队伍的后面，而其他蚂蚁也跟着它，最终把整个蚁族都带入地狱般的旋涡。

先放下这些罕见的失利不说，征召机制大体上还是很有效的。现在，关于蚁巢的组织能力还剩下一个问题：蚁群的强大之处在于能同时做好几件事，互相分配任务，但每只蚂蚁都不停地留下几十甚至几百个气味信号，要怎么区分事情的轻重缓急？更简单地说，到底要走哪条气味路线？怎么选择？

妙处就在于，蚂蚁因年龄、类型、身体状况、个体经验不同，对同一刺激的反应也会不同。在生理上，每一类功能的蚂蚁都被设定好，在收到相应任务的信息素时，它们会迅速反应，信息素不符合自己的任务时，就无动于衷。比如，在蚁群遭受进攻时，对应激信息素反应最好的是兵蚁而不是工蚁。工蚁身体较小，而且没有兵蚁的应敌武器……每只蚂蚁都被引导去做适合自己类型和能力的事。而蚁巢整体的回应依然多样，与防卫、建设、觅食等各种需求相互协调，这是一种“全面回应”。科学家甚至认为，弹性、动态地回应刺激是真社会性[①]动物成功的核心。不仅是蚂蚁，蜜蜂、马蜂和白蚁也是如此。

无私奉献

蚂蚁的成功还源于一个信念——个体几乎“不重要”。成年蚂蚁不知疲倦，为蚁巢工作，为集体利益牺牲自我。在《拉封丹寓言》中，蚂蚁是最辛勤的劳动者，一辈子都在劳作。但是，有些新发现与这一观点相悖。科学家观察到，蚁巢中有些蚂蚁一点活儿也不干。它们被称为“懒蚁”，似乎只会享受蚁巢的优渥环境，让其他蚂蚁费力去寻找食物、修补蚁巢、击退入侵者……它们是偷懒还是叛逆？都不是。最

① 真社会性（eusocial）一词中的前缀“eu”表示“真”。在生物学中，真社会性需符合以下标准：有分工，尤其有一类专司繁殖；多代同住；合作照顾未成熟个体。

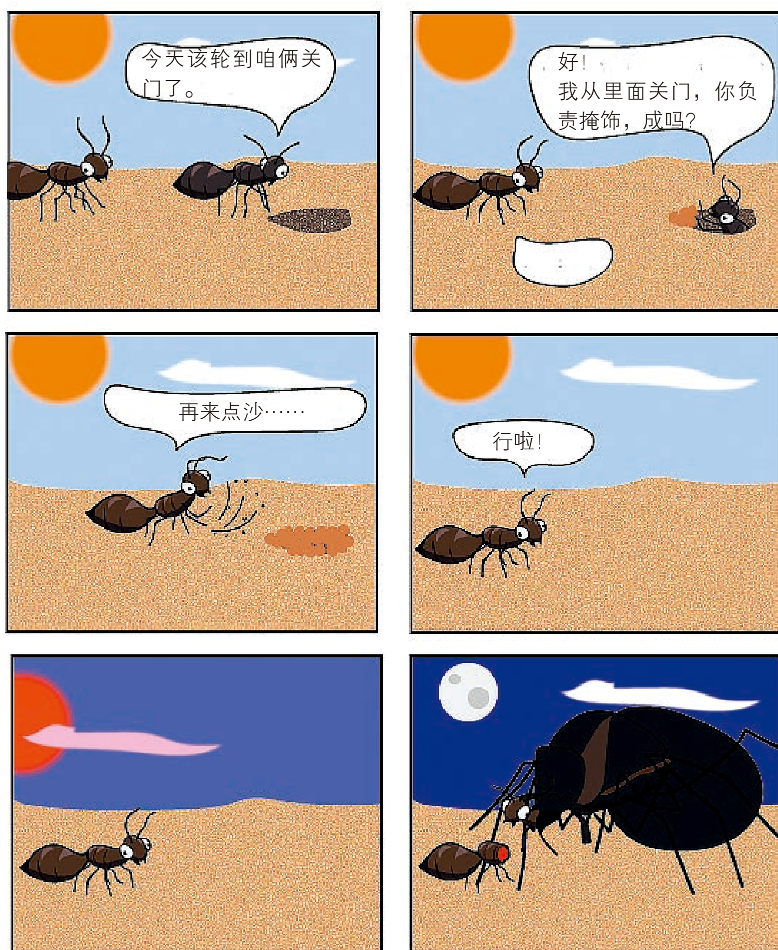


近一项研究表明，蚁巢的各项工作要想持续下去，就少不了这些闲着的蚂蚁。它们只是“未激活”，等待接替累了的同伴。通过减少社会中某些成员当下的生产力，可以让整体生产力达到最大化。

个体的生命也不重要。在极端情况下，某些蚂蚁甚至会自杀，以维持蚁巢正常运转。还有好几种蚂蚁会在必要时毫不犹豫地迎战比自己强大得多的敌人。正如蜜蜂舍身蛰敌一样，更有蚂蚁干脆把自己变为“自杀式炸弹”，比如爆炸蚁和弓背蚁，其腺体有腐蚀性黏液，会让自体爆炸以铲除敌人。你可能会反驳说:“人类也会作战，也会牺牲生命，甚至更有牺牲精神!”你说的对。但你认识哪个人会为了关门而牺牲自己吗?没有吧。巴西的一种蚂蚁（拉丁名 Forelius pusillu）可是每天都在上演这一幕悲剧!它们习惯在一天结束时用沙粒和土块堵上蚁巢的入口。在差不多关严入口时，大部分工蚁回到蚁巢中，但会留一两只在外面。这些蚂蚁本着精益求精的精神，小心地把入口伪装起来。它们的结局可不幸福!夜幕降临时，它们就要面对死亡，要么被吃掉，要么被冻死，要么更诗意地随风而逝。蚁群为什么要每天损失这一点劳动力呢?

生产力的铁律不可违背。蚁后产一次卵就可以替代这几个成员，有些蚁后一年可产 5000 万枚卵。而这类蚂蚁一窝能有 10 万只蚂蚁。几个蚂蚁的牺牲对于整个蚁巢来说完全可以忽略不计。而且从上文可

知，这悲情的一幕对牺牲者也有好处：保护蚁巢就是保护蚁后，也就保证了自己基因的传递。



（伪）结论

总之，自然提供了很好的例子，展示了一种利他、有效、完全没有指挥中心的社会。这种社会的基础与人类的基因传递机制完全不同，而且没有明显的个体意识——蚂蚁社会不存在《蚁权宣言》。蚁巢可被视为一个整体的生命，而非一群独立的个体，成员是组成群体的细胞，而蚁后就是生殖器官。

如果你想把这些不知疲倦的小东西的生产模式复制到我们自己身上，最好还是三思而后行。这种生产模式的牺牲品通常是个体的生命！不过，研究蚂蚁对解决物流、信息、传媒等问题还是很有裨益的。研究已见成果。有些算法就是依据了蚂蚁的行动规则，计算出最经济的货运路线。借鉴蚂蚁的集体移动方式，可优化公路交通。蚂蚁的征召系统加上个体的不同感应性，可以用于机器人编队，让机器人完成复杂而有组织的任务，无须人工干预。简而言之，我们还有许多东西可向这些神奇的小昆虫学习，它们提供的行之有效的策略，是几百万年的进化造就的奇迹。

06

最危险的救命恩人

在孩童时期，我们曾多少次想象自己被毒蜘蛛蛰了、被响尾蛇咬了而一命呜呼？电视台也喜欢刺激大家，经常播放什么《地球最危险动物前十名》等节目，故意选出骇人的画面，比如被巨型食鸟蛛蛰了垂死挣扎的小型啮齿动物，还配上犹如电影《大白鲨》一般的背景音乐……要是被这些毒物咬了，那该多么痛苦啊！一想到这个，观众就不寒而栗。这种想法其实有失公允，毒性最强的动物不一定最危险。还要看它进攻性强不强和下毒方式，等等。法国黑寡妇蜘蛛（间斑寇蛛）的毒性比响尾蛇和眼镜蛇还高，但它咬人不会致命，因为它的放毒剂量太小。有毒的动物也不一定有害，它们的毒还能改善我们的生活，甚至延长了人类的寿命，提供了大有前景的药物开发方向。

毒液由专门的腺体分泌，比如蛇毒就是由蛇类的唾液腺分泌的。通过咬、蛰，甚至只是简单接触，组成毒液的毒素进入对方体内。毒素是货真价实的生物武器：有些毒素作用于神经系统，扰乱神经突触的工作，引起横膈膜麻痹，令人窒息而死；有些毒素直接作用于心肌和肌肉细胞；有些毒素攻击血细胞，引起大出血……大部分毒液综合了好几种作用，可怕而有效。

如何利用毒液的不同功效呢？有人被蛇咬了，不但没有死，还出现了积极的效果，比如旧时的疼痛消失了，病好了。想弄明白真相，首先要把毒液中的上百种毒素分离出来，然后找出可能产生积极作用的毒素，弄清分子作用机制。鉴别工作漫长而枯燥，需要金钱、人力、设备等很多资源。一旦找到起作用的毒素，就要进行临床试验，然后再看能否将毒素批量生产，也就是能否人工合成或其衍生品。所有有毒物种都可能含有能治病的分子。这方面的研究者越来越多，大家共同建立了毒素库，分享研究硕果。比如，人们现在已研发出从毒液中提取的糖尿病和心血管药物。

以美国毒蜥为例，它在大多数情况下没有攻击性，所以对人也不危险。但你一定想不到，毒蜥如此之大的体型，一年却只进食三四次！它怎么能坚持那么长时间不吃东西呢？这要归功于毒蜥外泌肽-4，它主要存在于毒蜥的唾液中。这种毒素让毒蜥可以维持正常的血糖水平。人们由此制造出艾塞那肽，帮助II型糖尿病患者降低血液中的葡萄糖水平。

海里的地纹芋螺也有几手。从表面上看，这小东西人畜无害，其实它非常危险，其致命毒液的毒性比氰化物还要大1000倍。地纹芋螺会快速伸出一支非常灵敏的管子击中猎物，并趁机下毒，让其动弹不得。研究发现，其毒液中含有齐考诺肽，有镇痛作用，类似于吗啡，但上瘾风险较小。而根据正在进行的其他研究，其毒液中的肽（小分子蛋白质）也许能缓解晚期癌症的疼痛、帮助对抗阿尔兹海默症和帕金森综合征，或在癫痫发作时起到镇静作用。

这些能启发新疗法的有毒动物只是众多有毒物种的一部分。随着技术和生物学的进步，我们对毒液的理解会越来越深，其潜在医疗价值也会越来越大。有毒动物很多，如昆虫、爬行类、软体动物、鱼……毒液研究前途无量！

但如今，气候变化、栖息地缩小、海洋酸化等因素让许多物种数量减少，生存受到极大威胁。与时间赛跑、保护环境、维持生物多样性的确刻不容缓。这些有毒物种或许某天真能救你一命！谁知道呢……



07

麻雀虽小，脑子俱全

如果说一个人“鹦鹉学舌”，意思是他只会重复别人的话，不会独立思考。鸟类真的为了展翅翱翔而牺牲了思考吗？有翅膀、没大脑，如同古希腊神话中莽撞的伊卡洛斯一样？大错特错！读完下文，你也许会非常吃惊。

但我们首先要弄清什么是鸟类。下蛋、大多会飞（除了企鹅、鸵鸟、几维鸟等）、长着喙……最重要也最特别的是，全身覆盖着羽毛。羽毛这种革命性的创新材质出现在1.5亿年前，那是恐龙统治地球的时代。人类直到20世纪90年代才知道，有些恐龙也长满了羽毛，比如著名的始祖鸟，还有因斯皮尔伯格的电影《侏罗纪公园》而出名的迅猛龙，但它们在电影里是光秃秃的。鸟类和恐龙、爬行类的亲缘关系很近。我们误以为恐龙和爬行类动物很笨拙，也就误以为鸟类没什么智商了。是时候为长羽毛的兄弟们正名了！

鸽子识人无与伦比

我们先从常见的鸽子开始。它们在广场上闲庭信步，滑稽地扭头，

也没有人为它们作画，而它们则孜孜不倦地用粪便“装点”着城市里的雕像和楼宇。你觉得鸽子什么也不会？其实它们会的东西很多。

首先，鸽子辨识人的本事着实厉害——它的眼里只有你哦。已有研究证明，鸽子能分辨人类，而且分得很清楚。实验是这样的：两人给鸽子喂食，一人穿白上衣，一动不动扮演“好人”；另一人穿红上衣，不停挥动手臂驱赶鸽子，扮演“坏人”。鸽子很快就会聚向“好人”，就算“坏人”变成“好人”，不再吓唬鸽子，鸽子依然会躲得远远的。为了进一步考验鸽子，“好人”和“坏人”交换了上衣。惊喜来了：鸽子可不上当，仍然走向好人！所以，它们识人不仅根据衣服，还根据外貌、姿势和脸。

对于识别个体来说，这些标准已非常细致，尤其是识别其他物种的个体。不信你试试，看自己能不能在一群同样颜色的鸽子中只看它们的脑袋就认出某一只！

鸽子另一个隐藏的天赋是区分物体——识别、分组、归类。这是一个复杂的过程，而且远不同于鸽子的日常活动。1995 年的一项研究证明，鸽子能区分印象派（如莫奈）和立体派（如毕加索）的画作。多了不起啊！在实验时，屏幕上出现两幅画，一幅是毕加索的，一幅是莫奈的。鸽子如果去啄画面，一组鸽子在选择毕加索时会得到糖果奖励，另一组在选择莫奈时得到奖励。训练鸽子，直到它们总能选对。然后给鸽子看两幅从未见过的毕加索和莫奈的作品，再让它们重新选择。结果，大部分（90% 以上）鸽子都会选择之前已适应的画家作品！它们能“归类”新图像，判断是不是自己熟悉的画家作品。总之，鸽子能给东西分类。

实验并没有到此为止，研究者又把事情复杂化了，给鸽子看其他印象派画家（如塞尚和雷诺阿）和立体派画家（如布拉克和马蒂斯）的画。结果，鸽子还是偏向已熟悉的艺术流派，既能分辨出立体派抽



“立体派和印象派，难不倒我！”

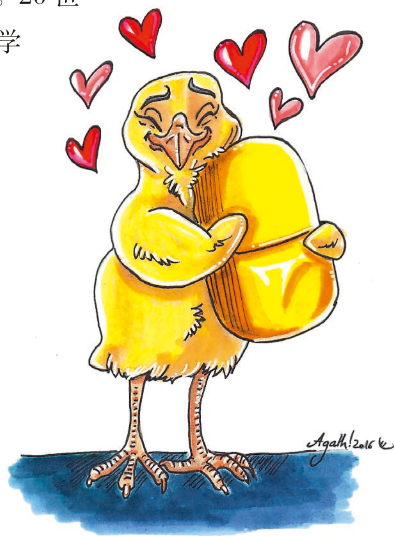
象而直接的形状，也能认出色彩鲜艳、笔触柔美的印象派肖像与风景。美术鉴赏家要担心失业了。

2016 年 9 月，另一个研究团队想看看鸽子会不会拼写。他们花了 18 个月训练鸽子，让它们在触摸屏上选单词。所有单词都由同样的 4 个字母组成，一个真实存在，另一个是瞎编的。如果鸽子选了真单词或者假单词旁边的星标，就会得到糖果奖励。然后，研究者给鸽子看新单词，由 4 个其他字母组成，真词、假词随机出现，看它们能不能分出来，结果它们居然做到了！尽管鸽子能认的单词比狒狒少——成绩最好的鸽子记住了 58 个词，但在大部分情况下，鸽子都能分出真词和假词。它们很可能是靠识别最常见的字母组合做到的。总之，想骗鸽子可没那么容易。

母鸡算术深藏不露

下面要说的另一种鸟也很常见，我们却从没夸过它聪明，那就是鸡。别看鸡的头那么小，脑子可好使着呢！小鸡就能从 1 数到 5。

你或许已经知道，鸡之类的鸟会把破壳而出时见到的第一个生物当成“榜样”，这种现象称作“印随”。小鸟会跟着见到的第一个生物走，模仿其行为，把它当妈妈。这个敏感期对于小鸟未来的学习和行为至关重要，这决定了它的一辈子。20 世纪 30 年代中期起，奥地利动物行为学家康拉德·洛伦茨在这方面做了许多工作。他时常泡在湖里，一边喝咖啡，一边在乡间溜达，身后跟着一窝兴奋不已的灰色鹅宝宝。这张图已传遍世界。小鸟在出壳时，也会印随无生命物体，只是依赖程度稍低一点。意大利的一支研究团队让刚出生的小鸡在印随期和塑料球一起成长。后来，小鸡居然能在两堆塑料球中选出更多的那一堆。印随让小鸡觉得，更多的那堆球更重要！要知道，两堆球的数量非常接近，只有 3 个对 2 个。



这还不是全部。在实验第二阶段，人们给小鸡看两堆数量不同的东西，然后当着它的面把东西藏在屏风后，再把物体从一个屏风后拿到另一个屏风后，两堆的数量和刚开始不一样了——这一切小鸡都看

在眼里。这时让小鸡选择，结果它依然能选出哪堆多！这样看来，小鸡不仅一出生就有数的概念，还能计算。就算是人类，也要努力学习好几年才能做到。

觉得小鸟很厉害吧？更厉害的还在后面，另外两种鸟类才是真正的"智多星"。它们属于两个特别的科：鹦鹉科和鸦科——它们天赋异禀，堪称鸟中奇葩！

乌鸦和鹦鹉各有天赋

与其弱小的体型相比，鹦鹉科和鸦科的大脑足足有黑猩猩的大脑那么大。但和我们的灵长类表亲不同，这些鸟尊崇一夫一妻制，终生只找一个伴侣。长期关系需要悉心维持，要能预想到伴侣的需求，记住过去的动作，如果想生可爱的宝宝，还要积极地配合——要做的事情真不少！所以，一夫一妻制可能就是这些鸟儿能力超常的原因。因为这需要诸多适应，代价高昂。一夫一妻制意味着夫妻双方忠于彼此，一起筑巢，一起抚养雏鸟。这样一来，将雏鸟抚育成年的机会才能达到最大。但是，比起"以量取胜"的多伴侣物种，一夫一妻制也意味着生育数量少，这就是一种代价。共同生活可能会加强这些鸟的思维能力——"他人即地狱"[①]嘛！比如，要留心群体其他成员，避免犯傻、犯错误，要想法子脱颖而出。英国人类学家罗宾·邓巴提出了"社会脑"假说：群体生活需要多种能力，而群体越大，所需的认知能力越强。两只鸟组成长期伴侣，生活在一起，需要付出很多牺牲。我们观察到，渡鸦两口子吵架后会和好，就和猿类一样。另外，乌鸦和鹦鹉的寿命很长，这意味着要长期留意和其他个体的互动，保证自己不被

① 话出让－保罗·萨特的戏剧《禁闭》。——译者注



“鹦鹉优等生！”

淘汰出局。社会性动物都是这样。大部分大型鹦鹉，如大白凤头鹦鹉、金刚鹦鹉和非洲灰鹦鹉都能活到 60 岁。而在鸦科中，不仅大乌鸦能活很久，小嘴乌鸦、松鸦、寒鸦、喜鹊等小型鸟类也能活成一把老骨头，在自然环境中能轻易达到 15 至 20 岁，在人工饲养环境下活得更久。

乌鸦和鹦鹉有这么多王牌在“爪”，真可谓出类拔萃。记忆、预期、推己及人、感同身受、使用工具、解决问题都不在话下。这些长着羽毛的爱因斯坦样样精通，那我们就要看看它们有什么成就了。

能言善辩的亚历克斯

第一个让全世界为鸟类智慧而惊叹的，应该就是亚历克斯。这是美国研究者艾琳 · 派佩伯格饲养的一只非洲灰鹦鹉。1977 年，派佩伯

格偶然在宠物店买到了亚历克斯。经过日复一日的刻苦训练，亚历克斯很快表现出天才的一面。直到现在，还没有任何其他实验鹦鹉能望其项背。亚历克斯不但口齿清楚，而且知道自己在说什么。它能说出 50 个不同的名词、7 种颜色、5 种形状，还能从 1 数到 6，甚至能说出有实际意义的句子，表达自己的意愿，比如“我要那个方块”“我要到椅子上去”。把单词组合起来，亚历克斯能说出 100 个不同的物体，还懂得“一样”“不同”“更大”“更小”是什么意思。网上有很多展现亚历克斯能力的视频，比如，如果有人把好几种不同颜色、形状、大小的物品放在台子上给它看，问它哪些相同、哪种数量最多等，它都能答上来。如果没有相同的，它还会说“没有”。

更厉害的是，亚历克斯能做 6 以内的加法。如果先后把两个不透明塑料杯下的坚果给它看，再问它两个杯子里总共有多少坚果，它都能说出正确答案。而且亚历克斯还懂得“零”的意思，这是再抽象不过的概念了。

心智理论和同理心

派佩伯格的发现重新提起了大家对鸟类的兴趣。20 世纪 90 年代，全球好几个团队开始深入研究。英国剑桥大学的内森·埃默里和妮古拉·克莱顿主要关注鸦科和“心智理论”。他们的研究让人类把鸟称为“长羽毛的猿”，以赞叹鸟类出色的智力。

鸦科不仅包括小嘴乌鸦和渡鸦等黑鸟，还包括闪亮的喜鹊和多种色彩缤纷的松鸦，它们的特别之处都在于喜欢储藏食物，以备后用。我们观察到，这些鸟会十分小心地选择藏食物的地点。如果藏的时候被同类看到，它们还会再换个地点，防止食物被偷。乌鸦懂得未雨绸缪，审时度势。既然乌鸦在被同类看见自己在哪里藏食物之后知道要

重新找地方，这就表示它能推想出偷看者在打什么主意：“这家伙肯定会趁我不注意时，把食儿偷走！”我们之前一直认为，只有人类和其他灵长类动物能猜测别人的心思。“心智理论”就是关于这种奇妙的能力——站在他人的角度思考，不仅猜到对方看到、听到什么，还能推测他想要什么、知道什么。我们认为这种能力与同理心密切相关，同理心就是辨别他人情感，并感同身受的能力。心智理论和同理心在人类社会中都起着核心作用。

再回到乌鸦上来。剑桥大学的研究团队对西丛鸦的研究更进一步。西丛鸦是一种漂亮的蓝色松鸦，原产于美国。在实验中，研究者给西丛鸦食物，让它埋在装满沙子的制冰模中；然后，研究者在玻璃的另一边放了一只鸟，看着这只藏食的鸟；之后，再让藏食的鸟单独待着，好让它有机会给食物换地方。结果不出所料，如果西丛鸦藏食物时被同类看到，就会换个地方藏食。它可不傻！

更妙的是，鸟类的经历不同，行为也不同。偷过小伙伴食物的西



“看什么看？偷窥狂，快走开！”

从鸦在藏食被看到时，一定会给食物换个地方；而从来没当过小偷的西丛鸦并不会换地方。由此可见，“小偷”能推己及人，预测他人的行为:“我有机会的时候也会偷，所以偷窥者肯定也会偷……我还是把食物藏到别的地方去吧。”聪明吧?

镜子，镜子，告诉我……

从 20 世纪 70 年代起，动物的一种能力引起了科学界的兴趣，那就是认出镜中的自己。这种能力和同理心紧密相关。能认出镜中自己的小孩子会去抚慰假装悲痛的实验者，这样做的前提是能够分清“我”和“他”。人类要花两三年才能学会！如果想评估动物的这种能力，可采用简单的“斑点测试”。该测试首先用于我们的灵长类近亲，之后扩展到许多动物——黑猩猩、红猩猩、倭黑猩猩、大象、海豚都通过了测试。但是，目前只有一种鸟能认出镜中的自己。猜不到是谁?它就是喜鹊，也是鸦科的成员。

测试开始时，研究者先让鸟习惯镜子，然后在它头上或脖子画一个斑点或者挂一个纸做的斑点，而且只有照镜子时才能看见。把鸟依次放在镜子前，如果鸟直接挠镜子，说明它认为斑点在镜子里，测试不通过；如果它在镜子前挠自己身上斑点的位置，测试成功。当然，为了确定鸟一定是看到斑点而不是感觉到，还要把它放在一张纸板前，这样它就看不到自己，如果还是挠自己，那么照镜子测试就不能说明问题。结果在 5 只喜鹊中，2 只会在照镜子时努力想去掉脖子上的点，也就是说，它们能认出镜子里的自己。由此开始，科学界又测试了其他鸟类，如寒鸦、乌鸦、鹦鹉等，但目前都没有成功。这个测试的主要问题是，就算鸟明白镜子里的是自己，也不一定急着把斑点弄掉，它可能根本不在乎。这为解释实验结果增加了难度。不管怎样，目前

唯一通过测试的是喜鹊。脱帽致敬！

小鸟的瑞士军刀

你还要更多证据才肯相信鸟类的智力超群？好吧，最后的证据就是，乌鸦和鹦鹉是已知唯一能制造并使用工具的鸟。我们一直以为这种能力是人类所特有的。但是，英国灵长目学家简·古多尔早在 1971 年就发现，黑猩猩会用木棍伸入白蚁穴掏白蚁。动物和人类之间的距离又缩小了！

1996 年又出现了一个惊喜：人们发现新喀里多尼亚的小嘴乌鸦也会使用工具。更厉害的是，它们还会把最好的工具留下来，以供日后使用，这表示它们能计划未来。另外，小嘴乌鸦还会教幼鸟如何制造工具——这是文化传递，在人类以外的动物中极为少见，只有某些猿类有这种现象。小嘴乌鸦制造的工具还会因各自的居住地不同而拥有不同的形状，也就是说，它们有各自的“传统”，这也是文化传递的证据。制造工具需要父母的教导，虽然幼鸟也会自发地学习，因为这种发明精神写在基因中。然而，如果没有父母的指点，它们就不能做出各种形状。所以，幼鸟的行为有天生的成分，也有后天习得的部分。

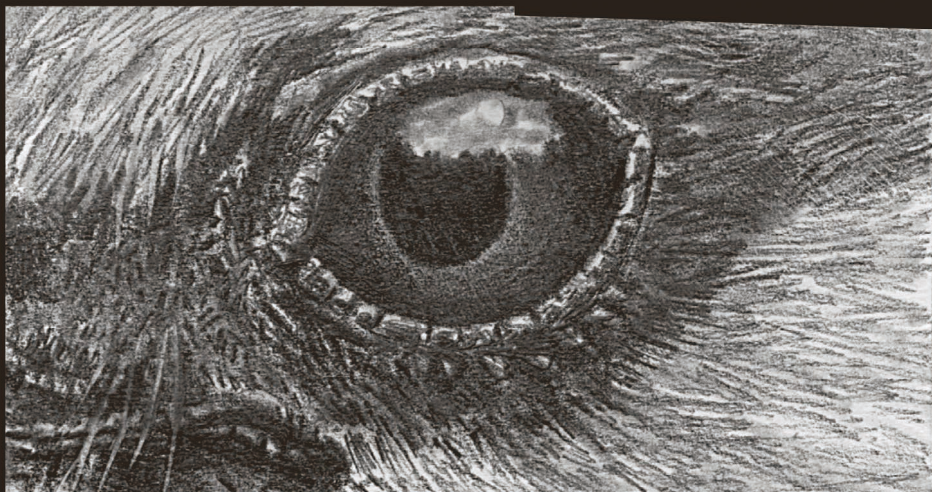
有人一直觉得鸟类很蠢，但其实它们一点也不蠢。母鸡、鸽子、乌鸦、喜鹊、鹦鹉……这些鸟一个比一个聪明，一个比一个能干。而我们还远没有彻底弄清它们的真本事！希区柯克的电影《群鸟》可能不完全是异想天开，鸟儿们也许正阴谋策划统治全世界。至少，你下次再想骂某人是“傻鸟”之前，可要想一想了！

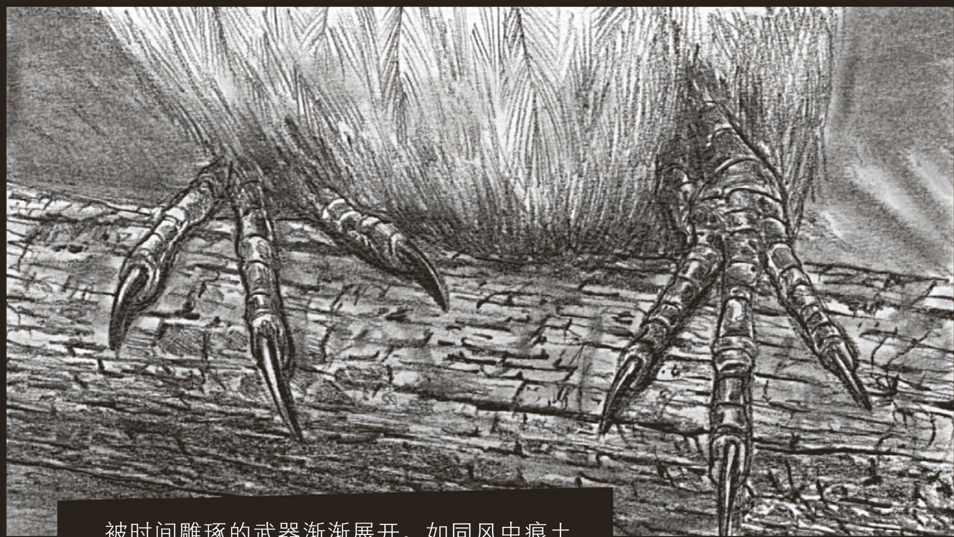


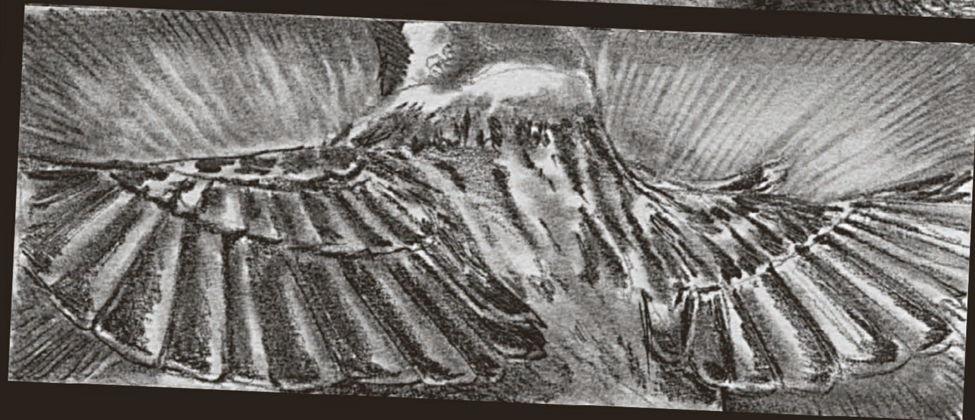
“戈芬氏凤头鹦鹉和新喀里多尼亚小嘴乌鸦，会用工具的鸟儿们，团结起来!”


侏罗纪公园
作者：阿兰·贝内托


清晨第一阵窸窣，秘密国度的君主醒来。平凡世界，日升日落，人类疯狂的“早高峰”尚未来临。




被时间雕琢的武器渐渐展开，如同风中痕土
中迹，奇幻显现。



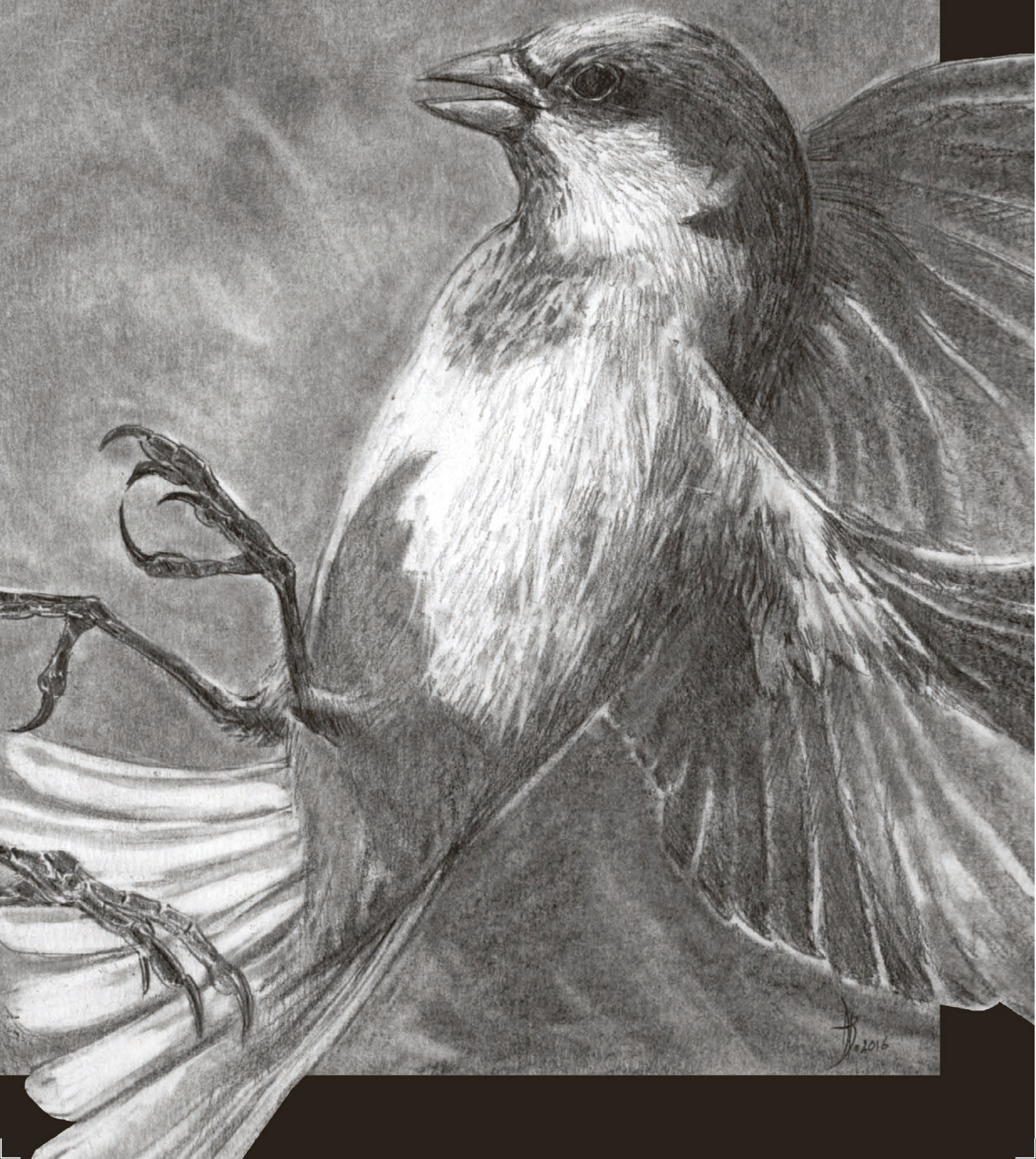


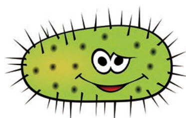


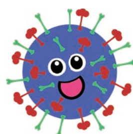
飞扬尘土中，神秘的舞动。
游戏，还是一场征战？


来自白垩纪的孩子们啼鸣舞翅。时间却是今晨 7 点 08 分。

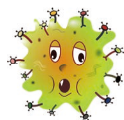
这是一只兽脚亚目恐龙，名叫 Passer domesticus（家麻雀）。



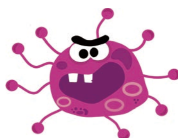




09



谢谢你，病毒！

流感、麻疹、脊髓灰质炎、埃博拉、天花、基孔肯雅热、狂犬病、疱疹、登革热、非典型性肺炎、寨卡、肝炎、黄热病、水痘、肠胃炎……一想到病毒，我们脑子里浮现的尽是些不好的词，因为许多病毒都和它们导致的疾病同名。有些病症相对轻微，比如感冒，有些则后果严重。病毒的大小从十万分之一毫米到千分之一毫米不等。虽然它们在显微镜下才能被看见，但真的不可小觑！对人类免疫缺陷病毒（HIV）的研究已耗费人类几十年时光，但我们仍不能治愈它造成的获得性免疫缺陷综合征，即艾滋病，也不能通过有效接种抗体，防止感染。

有些病毒除了会让人类生病，还会长期侵害机体，导致癌症出现，如肝炎病毒会导致肝癌，人乳头瘤病毒会导致宫颈癌。

抗病毒之战永无止境，因为每过一段时间就有新病毒出现。最近发现的病毒之一 MERS-CoV 是一种冠状病毒，在 2012 年导致了沙特阿拉伯爆发中东呼吸综合征，确认携带者中 30% 最终死亡，而现在依然没有针对该病毒的疫苗或疗法。

话虽如此，还是建议你谢谢病毒……看似不对劲？让我们花时间好好想想吧。

病毒带来发现

病毒无处不在：物品、生物、最恶劣的环境中都有病毒，而且一向如此，越找病毒越多。科学家估计，一勺海水中有几百万病毒，病毒也成为数量最多的海洋生物。当然，远非所有病毒都会感染人类，有些病毒瞄准植物，有些瞄准动物，有些瞄准细菌，有些甚至会感染其他病毒！

病毒让我们生病，危害我们饲养的动物和种植的植物，值得好好研究。它们寄生在受感染的机体内并增殖，生物特性与其他生物紧密相连。因此，研究者在寻找抗病毒方法时，经常对被感染物种也会有诸多新发现，对人类自己也是如此。

这里仅举一例。20 世纪七八十年代，人类对鸡的研究取得了意外的重大成果。当时，科学家正在研究白血病病毒。白血病是一种癌症，血液中某些细胞大量异常增生。他们在寻找不同病毒在鸡身上的致病机制时，发现好几种基因表达直接被病毒加强了。这一发现对我们理解癌症出现的基本机制是一个巨大的进展。在鸡身上找到的这些基因只是一组基因的前几个，这组基因的表达促进了癌症研究的发展，被称为“癌基因”。

对鸡病毒的研究不止带来了新的概念。研究证明，家禽身上发现的各种癌基因在人身上也有对应版本，也会导致人出现癌症。换句话说，为了弄清病毒在鸡身上的作用，人们同时找到了能使人患癌的基因。

现在，测量肿瘤中的癌基因表达水平已变为一种强大的诊断工具，可用于区分良性肿瘤和恶性肿瘤，确定癌症阶段，预测病情发展。为此，我们当然要向病毒说一声谢谢！

没有病毒就没有人类?

我们和病毒共处了很久很久，有了病毒，才有了今天的人类。

简单讲，最能抵御病毒的个体在疾病肆虐时生存下来，并把抗病武器传给后代。病毒时不时来"问候"我们一下，我们也就一代代保留了防御疾病的方法。而且，我们的武器库还不断完善，因为病毒特别善于适应并突破我们的防御。

病毒引起了多次传染病大流行，造成大量人口死亡。在近代历史中，最令人心惊胆战的应该是1918年至1919年的"西班牙流感"。据记载，这次流感在不到两年时间里造成2000万至5000万人死亡。HIV病毒的流行时间更长，如今仍在继续，它从1981年起已导致约4000万人死亡。我们还知道，欧洲殖民者带到美洲的病毒性疾病，尤其是天花，在他们到达后的几世纪里导致了大部分印第安人死亡。

经过一次次大规模的传染病肆虐后，病毒就像捏泥巴一样塑造了今天的我们——一口气去掉一大批，让剩下的在新环境中进化。

病毒不断感染我们，影响了我们的进化，值不值得第二次说声谢谢呢？可以想象，没有病毒，人类依然会存在，只是会与今天的人类有点不同。我们当然可以这么幻想，但病毒已成为我们不可分割的一部分！

融入基因组的病毒

难道就不存在不携带病毒的人？实际上，就算没感染病毒，病毒也存在于我们的机体中，就在细胞的最深处。生命之初，当我们还只是个受精卵时，就已带有病毒了，因为病毒已进入我们的基因组。

比方说，人类基因组就像用一个仅由 4 个特殊字母写成的文本，不过文本很长，共包含超过 30 亿个字母，分成 23 段——这就是染色体。我们大部分细胞都有 2 套 23 对染色体。

染色体中的基因序列是生产蛋白质的说明书，但这些基本要素只占总长度的 1%，相比之下，病毒基因残留倒占了 8%！

罪魁祸首就是逆转录病毒，它能将自己的基因组融入受感染细胞的基因组，一旦融入就被当成内源性基因组。这种“鹊巢鸠占”的基因大部分都很古老，内源性逆转录病毒基因组随着时间越陷越深，用 4 个字母写成的文字被改变了。

研究者在分析基因组时，很容易认出逆转录病毒基因组。它们大部分已不能有效读取——大部分，但不是全部！近期进入的基因组的改变没那么大，有些就像熄灭的灯一样，按下正确的分子开关，就会再次亮起来。这种现象极为罕见，越来越多的研究者想确定，内源性逆转录病毒的非正常表达与某些疑难杂症之间到底有没有关系。

其他内源性逆转录病毒仍含有能被细胞有效解读的基因。虽然看起来令人担忧，但我们应该为此高兴，因为没有它们，我们根本不会来到这个世上！有些病毒基因其实是人类繁殖不可或缺的，我们来看看为什么。

病毒与人类繁殖

逆转录病毒有许多基因，其中一个是囊膜基因，它可生产病毒粒子表面的一种蛋白质。这种蛋白质有两个基本作用，一是保护病毒不被免疫反应清除，另一个是作为进入细胞的钥匙。我们的细胞表面布满了显微镜下才能看见的“锁”，逆转录病毒与细胞接触时，如果它的钥匙正好能打开锁，病毒和细胞就会融合。

人类基因组中有两个状态恰好能产生囊膜蛋白的内源性逆转录病毒。这些囊膜蛋白存在于一个特定部位——合胞体滋养层。这是胎盘的一部分，在胚胎着床时必不可少，在母亲与胎儿的气体、营养、血液交换中也起着重要作用。

生物学家所说的"合胞体"由好几个细胞融合而成，而这种融合依靠的正是上述两种病毒囊膜蛋白。它们在胎盘细胞表面，作为分子钥匙让某些胎盘细胞融合，就像其他囊膜蛋白让病毒和细胞融合一样。

这两种内源性逆转录病毒囊膜蛋白都参与合胞体的形成，被称为合胞素 -1 和合胞素 -2。

要注意的是，合胞体滋养层是由胎儿产生的。所有人在出生前就利用了病毒蛋白的性质，好让自己待在母亲的肚子里接受滋养！

逆转录病毒囊膜蛋白的作用当然不止于此。正如上文所说，它们能限制免疫系统的作用。合胞素研究者认为，这个性质正是妊娠不可缺少的因素。每个胚胎都混合了父母的基因，所以在基因上异于母体。换句话说，胎儿对母体来说是异体，母体的免疫系统本应该试图摧毁它，但实际情况并非如此。科学家现在认为，母体的这种"容耐"正是由于合胞素对母体免疫系统起了作用。

其他物种也受益于合胞素吗?

其他物种又如何呢？卵生动物的幼崽在蛋中发育，位于母体之外。这时，免疫反应攻击胎儿的问题就没那么重要了。但我们远不是唯一的胎生物种，大部分哺乳动物都是胎生的。

现在，人们还不清楚胎盘的进化史。科学家在发现人类合胞素后，也开始在其他哺乳动物身上寻找同一类蛋白质。目前，所有研究过的物种胎盘中都找到了内源性逆转录病毒囊膜蛋白。啮齿类、兔子、

食肉类（如猫和狗）、反刍类和某些有袋类身上都存在相当于合胞素的物质。

按理说，不同的哺乳动物应该拥有同一种保证容耐胎儿的机制，但人类合胞素和老鼠的不一样，老鼠的和兔子的也不一样，兔子的和猫的也不一样，猫的和牛的还是不一样……这很出人意料。因为其他要素已证明，所有哺乳动物都是从同一个祖先进化而来，而所有真兽亚纲动物（也就是除鸭嘴兽和针鼹之外的哺乳动物）都是从同一个胎生祖先进化而来。如果合胞素对“胎生”来说不可或缺，那么让哺乳动物的共同祖先能够胎生的合胞素，如今应该存在于其所有后代身上。

看来，事情比想象的复杂。研究者认为，这种“原初”合胞素确实存在过。一开始可能存在一种内源性逆转录病毒囊膜蛋白能帮助胚胎被母体容耐，但之后，随着不同哺乳动物被新的逆转录病毒感染，它们身上可能出现了其他合胞素，逐渐代替了第一种合胞素。这就好像在接力赛中，一开始，每队拿的都是黑棒（第一种合胞素），接棒时随机把黑棒换成其他颜色的接力棒（新的合胞素）。于是在到达终点时，各队接力棒的颜色或许会有不同，而在一开始，大家拿的都是黑棒。

这个比喻与现实还是有区别的：在不同哺乳动物的基因组中，编码新合胞素的基因并没有真的替换编码旧合胞素的基因，它们只是加入了“接力赛”而已！旧的基因应该还在，只因不再使用而被时间深埋了。

对研究合胞素的科学家来说，挑战之一就是寻找这第一个让胎生成为可能的逆转录病毒囊膜基因。

另有研究则关注不同的合胞素对胎盘结构的影响。哺乳动物的胎盘形态各异，不是所有物种都有合胞体滋养层，反刍动物就没有，但有3细胞融合而成的合胞体。与猪有亲缘关系的物种和鲸类，它们的

胎盘在形成时也没有任何细胞融合阶段。

不同哺乳动物的合胞素的融合细胞能力也不同。如果胎盘中没有一个细胞有对应的“锁”，那么这些“钥匙”肯定也都没有用了。研究不同合胞素的性质可能会揭示哺乳动物胎盘存在结构差异的起因。

最后，关于合胞素，现有另一个课题可供研究：某些鱼、蜥蜴和蛇虽不是哺乳动物，但也是胎生，它们身上有没有相当于合胞素的东西呢？未来的科学研究会告诉我们。

衷心感谢……

总之，病毒让我们生病，有时还导致悲惨的疾病肆虐。然而通过研究它们，我们在生物学领域取得了长足进步，有些成果在医学上产生了巨大影响。没有内源性逆转录病毒和它们的囊膜蛋白，人类胚胎就不能在母亲的腹中生长。今天，病毒仍在给我们带来令人着迷的课题，合胞素研究也可能为胎生起源和进化研究提供新知识。

多亏了病毒，我们才能出生、增长知识、不断提出问题。让我们诚恳地说一句：谢谢你们，病毒！





10

植物不为人知的才能

植物和动物的真正区别在哪里？花几分钟好好想想。植物不会动？对自己和周围没有意识？不能交流？没有任何形式的智能？如果你想到的是这些，那真的差矣！不过请放心，我们并不想革新生物的分类方式。从进化树上看，植物早在10亿年前就与其他生物分开了。所有植物，包括海藻一类，都能自己以光和无机物（二氧化碳、水）来生产有机物作为养料，这依靠的是一项不可思议的“发明”——光合作用。总之，植物因为细胞里含有特殊的色素（叶绿素）而能够捕捉光能，并将其转换成化学能。其他生物，除了某些细菌外，都无法自己做到这一点！另外，与动物细胞不同，植物细胞有坚实的细胞壁，并且以淀粉而非糖原的形式来储存能量。尽管有这些不同，我们与植物之间还是有很多相似点，植物也是复杂的有机体。在人们的印象中，植物通常被当成“物体”，默默地、被动地活着。这真是大错特错了，下文就要讲讲植物都有哪些秘密的本领！

动作

植物的第一个本领——动作。大家都知道，初开的向日葵在一天中会跟着太阳旋转。含羞草也会动，而且更加神奇，叶子一被碰到就会收起来。捕蝇草的叶子能在几秒之内收起来捉住猎物。另一个不太为人知道的例子是跳舞草，它侧向的小叶子能围绕底部做快速的椭圆运动，好像在跳舞一样，令人称奇！

是不是只有这些特殊的植物才会动呢？如果拍摄植物几小时，再把录像快放，那么我们会发现其实所有植物都会动，而且动作还不止一点点！有些变化可以复原，比如水进入细胞引起的肿胀，含羞草和捕蝇草都是靠这个动起来的。再比如有些花白天开放、夜晚闭合，有些花则节奏相反，但都是为了适应传粉者的习性，以及光线和温度的变化。这真能做出花的时钟了！有些动作则不可复原，比如生长的动力会让植物朝着光源等特定方向移动，需要时还可以扭曲而改变方向，由此产生的动作令人啧啧称奇。攀援植物或寄生植物会探索周围的环



境，寻找支撑或宿主。它们在空中大幅度地荡来荡去，一旦找到目标就缠绕其上。你还需要其他例子？看一看根在土壤中生长的延时摄影，感觉就像一只蚯蚓在拱土一样！

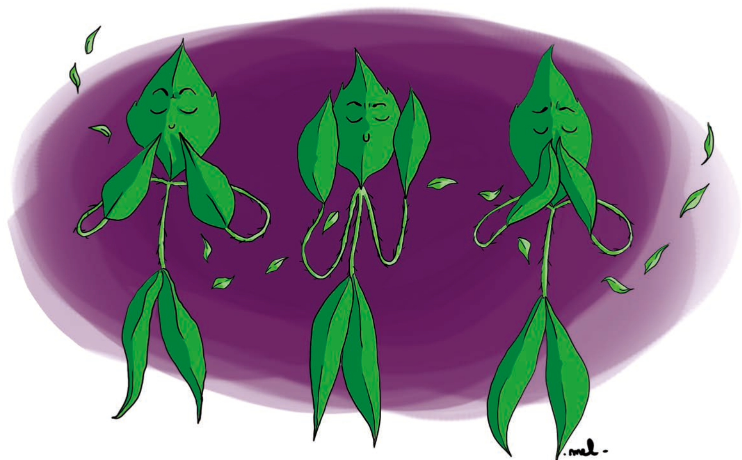
其实，我们能不能感到植物在动，这只是个速度问题。人类有个坏习惯，感觉不到的现象，或者速度不适合观察的现象，我们就不予理会了。植物找到了许多方法传播花粉或种子。当然，就算植物会动，它们也不会挪地方，至少不会自己主动挪地方。除了几个特例之外，沙漠地区的某些小灌木会离地而起，让风吹着自己滚动。

感觉

从进化角度看，不能移动就意味着不能躲避危险的捕食者。如果说，植物这么多年都没有发展出应对环境的方法，那也太奇怪了。所以事实上，植物对环境非常敏感！它们的感知能力正如我们的“五感”：探测飘散或固定的化学分子（嗅觉和味觉），探测与食草动物及授粉者的接触（触觉），根据不同波长感知光影（视觉），感知机械振动和声音（听觉）。另外，苔藓、草和树还能感知湿度、重力、磁场，甚至还有自身的形状和空间位置（本体感受）。

收到这些感觉信号后，植物会做出什么反应呢？植物的某些物理刺激机制很明确。比如，当拟南芥感觉到捕食者在嚼它的叶子而引起的振动时，就会产生花青苷类物质来自我防御，叶子的味道变得难以下咽，捕食者只好乖乖走远……最令人称奇的是，拟南芥还能分辨风向，分辨在附近飞舞的昆虫和食草动物嚼食引起的振动，因为并不是所有振动都需要启动防御机制。

其他机制理解起来就没那么容易了，比如植物对声音的反应。2012 年的一项研究表明，如果把玉米的嫩根暴露在频率 200 赫兹的低

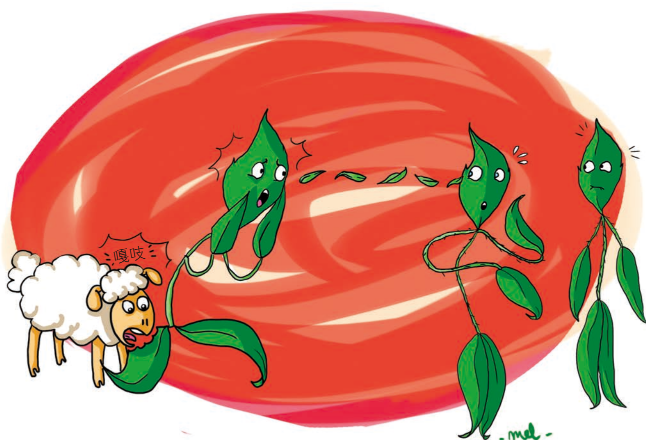


音中，玉米就会朝着声源生长。这是否表示它们有朝着地下水流生长的倾向？我们还不知道。

跳舞草在受到音乐的刺激时也会动。它是怎么听到音乐的？这还是个谜。跳舞能给跳舞草带来什么好处？我们也还不知道。

沟通

植物能感知外部信号，也能自己产生信号。它们能与同类及其他动植物沟通，而且，植物其实很爱聊天。这种沟通有利于抵御捕食者，方便昆虫传粉（见“瓶中的世界”），还能促进基因相似的植物，也就是“一家人”的合作。我们把某一种植物的种子放在盆里，让它们发芽。如果种子来自不同的植株，幼苗会互相竞争，抢占空间；如果种子来自同一植株或基因相近的植株，幼苗则会互相合作，分享空间。幼苗之间互相辨识的机制还没有完全被研究清楚。但要彼此“相认”，幼苗肯定要以某种方式沟通。



植物通常依靠化学信息沟通，但也会利用接触和光线，甚至声音和磁场。这个话题太宽泛，这里仅举几例。

20 世纪 80 年代初，在南非的德兰士瓦省，刺槐导致了上千头扭角林羚的死亡。这种羚羊被关在狩猎区内，大多以刺槐叶为食。这导致了刺槐的一系列反应。最后，刺槐全株激发了一种化学防御机制，产生了能扰乱羚羊消化功能的单宁。扭角林羚食叶越多，导致刺槐产生的单宁含量越高，最终竟让羚羊死去。这真是一场大屠杀啊！但最令人惊奇的是，被攻击的刺槐还能通过挥发性物质乙烯向周围的刺槐发出警报。于是，下风方向的刺槐的单宁含量也增高了，使扭角林羚无法食用其叶。

再举一个例子。棉豆在被蜱螨目寄生虫攻击时，会向捕食这种寄生虫的肉食类蜱螨发出化学信号，后者收到信号之后，就会来植物上饱餐一顿，也为植物解了围。

此外，豌豆则可通过神秘的“地下信使”在根之间沟通。比如，假如有人在豌豆根的附近注入甘露醇人工造成干旱，当一株豌豆受到

干旱的威胁时，其叶上的气孔就会关闭，避免水分流失。同时，周围没有打过甘露醇的植株会收到信息，也关闭了气孔，哪怕它们并没有感觉到干旱。这样一来，如果真的出现干旱，豌豆就形成了自救。这种地下通信可能依靠声音，因为在这些植株之间未检测到任何化学信号。

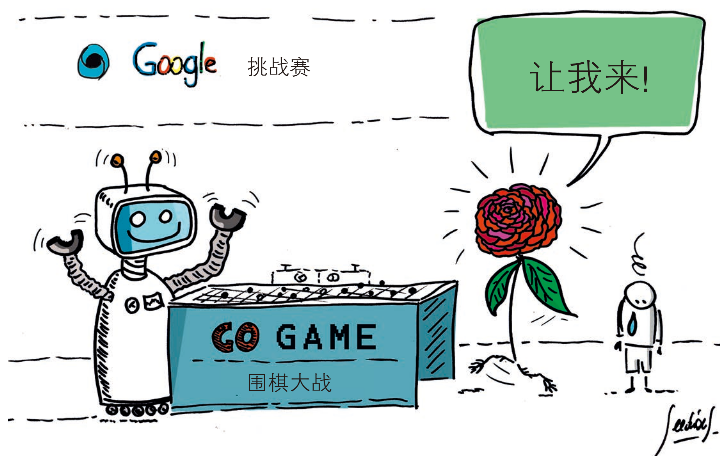
其他发现也暗示植物能用声音沟通。上文说过，植物能感知声音。长期以来，人们认为植物不发声，但事实上，它们可以发出好几种声音——当然不是它们有意识发出的。大部分声音是由植物内部的液体流动引起的。现在人们已经知道，玉米的根能发出"叮叮咚咚"的声音，这应该是其生长时细胞壁爆裂所致。在现阶段，我们只能对此现象提出一些假说。这可能是根之间的一种沟通方式，比化学通信更节能，速度也更快。

所有沟通形式只揭示了植物与其他生物之间复杂关系的一小部分。植物扮演着诸多角色，如果只把植物当成食物链底端的简单食材，那就太小看它们了。

智能?

直到今天，如果有人说植物有智能，也会引来质疑和嘲笑。在科学界，这是一个颇有争议的话题。"智能"这个词一般只用于人类和脊椎动物等所谓的"高级"动物。

智能到底是什么呢？要给智能下个定义可不容易。植物对环境和自身状态极为敏感，能够处理接收的信息，并综合起来做出反应；它们能够分辨同族的成员，选择竞争或合作；它们还能根据感受到的刺激做出合适的回应，比如，根据外部条件决定是否加速生长，或者向某一特定方向生长等。



有些植物还会存储信息，以备后用。它们是怎么做到的尚不清楚。这可能是通过分子完成的，带有表观遗传标记的 DNA（脱氧核糖核酸）可能是其中一种形式（见“被咬也会得癌症”）。例如，捕蝇草仅在叶片第二次被触动时才会关闭，这样就不会在被无生命物体触动时也要关闭，从而避免了浪费能量。为了做到这一点，捕蝇草应该在某处存有第一次被触动的信息。

植物的这些本领一般被认为是智慧生物才有的，那么，植物为什么不能算有智能呢？当然，这指的是初级智能和自我意识，并不是说植物能认出镜中的自己！奇怪的是，我们在说起机器人时倒更容易接受人工智能的概念，却不愿意承认地球上在我们身边默默进化了几百万年的生物也具有智能。

没有大脑，没有感觉器官，也能做到这一切？

为什么人类对植物的智能如此不屑一顾呢？人们通常认为，要有

智能，首先得有个大脑。但事情并非这么简单。我们再看一下“五感”：发声并不一定用嘴，听声也不一定用耳，闻味更不一定用鼻子。有些昆虫用爪子发声，用触角闻味，而蛇用信子闻味，通过下颌骨的振动听声。大自然发展出许多办法来解决同一个问题！

实际上，植物感知信号、发出信号、处理信息的生理和物理机制与动物和其他生物（真菌、细菌等）有许多相似之处。为了将激素等信号从一处传至另一处，植物身上有许多传送管道，主要分布在韧皮部，这有点像我们的血管系统。电信号也在植物身上传递，就像在我们神经系统里发生的一样。某些含有信息的分子被小囊从一个细胞运到另一个细胞，就像人类的神经递质在神经元接合点——神经突触里传输一样。最后，植物细胞的运动（也许还有振动和声音的产生）都受控于可收缩蛋白，与我们肌肉里的肌动蛋白和肌凝蛋白一样。当然，植物中有些秘密尚未得到解释，相似性研究依然不可靠。

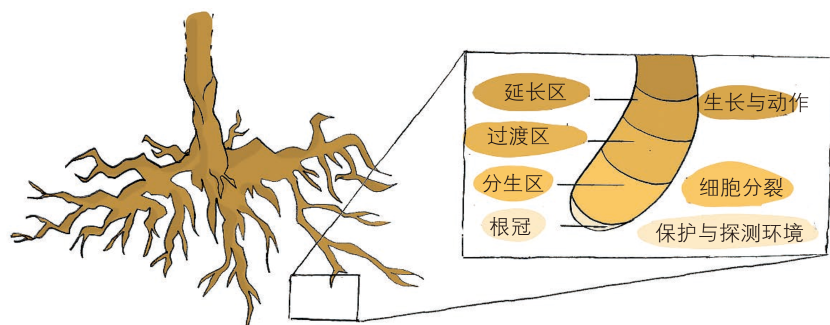
与大部分动物不同，植物的某项功能并不一定集中于某个特定的重要器官。切除植物的一部分通常不会导致其整体的死亡，也不会引



起其他严重问题。植物的关键生命功能分散在不同组织中，而叶和根之类的部分在损坏或被吃掉后，还可以再生。用扦插法繁殖植物的园艺师对此再熟悉不过！

植物在解读并利用信息时，并没有一个器官来指挥它的行为。根据某些研究者的说法，植物的某一部分可能在信号的解读中起着特殊作用。这一部分就是根部尖端的过渡区，在细胞延长区和分生区之间。这三层之下是根冠，它保护根部并收集土壤及其组成的信息。有研究人员认为，来自根冠的信息可能在过渡区被解读，然后被转译为指令，发给负责根部生长的另外两个区。过渡区电活动活跃，消耗大量氧气。

我们习惯了只看植物在地上的部分，其实植物有许多事情都是在地下进行的！



想法有创意，但也不新鲜

这些想法其实并不是今天才冒出来的。你们猜猜，是谁第一个提出植物的行为和蠕虫之类的“低等”动物有相似之处？又是谁说，植物能整合收到的信息以指导恰当行为，并提出了“根—脑理论”？对，

就是他，不知疲倦的查尔斯·达尔文。他一生中花了许多时间研究植物，并和其子弗朗西斯一起出版了《植物运动的力量》一书。弗朗西斯后来成为植物生理学的先锋之一。用达尔文的话说："侧根能指挥周围部分的运动，说它像低等动物的大脑并不夸张。这个'大脑'在身体前端，通过感觉器官感受，指挥所有动作。"

之后在1878年，实验医学的创始人克洛德·贝尔纳在含羞草身上试验了一种小鼠麻醉剂，发现含羞草对触碰也无反应了。正如贝尔纳在《动植物共有的生命现象课程》中所写，这显示出植物的行为与动物非常相似。

最后在1900年左右，一位印度生物物理学家贾格迪什·钱德拉·博斯提出，植物会根据所受的刺激改变行为。他关于植物内部会产生电信号的想法直到1992年才被重新提起：一项研究表明，受伤的西红柿植株会在远离伤口的部位产生某种蛋白质；但这一反应太快了，信息不可能是通过化学信号传递的，只有电信号才能如此迅速地将信息从植物的一部分传到另一部分。然而，还没有人能重复、确定地记录到这种电信号。

摒弃植物：缘何看不起它们？

有些发现要经过很长时间——甚至一个世纪才被接受。为什么呢？因为大家都知道，科学是人创造的，而人会犯错，会有偏见。这和历史背景、文化和宗教信仰都有关。

偏见由来已久。《圣经》里的诺亚方舟都没有给植物留地方……人们甚至都不考虑植物是不是生物这个问题。西方思想始祖之一的亚里士多德（公元前4世纪）在其生命等级划分中，只将植物排得比矿物高一级。虽然与他同时代的人也有其他观点，但是亚里士多德的看法



还是在人类文化中留下了更持久的痕迹。正如上文提到的，在 1800 至 1900 年间出现了一些植物生理学的先锋理念，但那时的文化氛围并不利于这些想法发展——达尔文因为进化论已经遭遇足够多的麻烦了。

20 世纪 70 年代，两位神秘哲学的信徒写了一本神秘主义的书，名为《植物的秘密生活》。但这本书的出版对于植物学研究毫无裨益。此后，科学家甚至因为害怕有人把自己和热衷此书的嬉皮士混为一谈，就算有结果表明植物具备惊人的能力，他们也缄口不言。

到了 21 世纪初，植物学家安东尼·特里瓦弗斯在诺贝尔医学奖得主芭芭拉·麦克林托克所做的玉米遗传学工作的启发下，提出植物也有智能的理论。他的论文发表后，才有几个研究者开始关心这个主题。

2005 年，“植物神经生物学协会”（Plant Neurobiology Society）诞生，却遭到激烈的批评，在科学界引起了冲突。2007 年，36 位研

究人员联合署名了一篇文章，严厉抨击了此协会的科研成果和活动。10 年之后，此协会改名为“植物信号和行为协会”（Society of Plant Signaling and Behavior），某些在当年那篇抨击文章上签名的人甚至也开始参加会议。禁忌破除了一点点……最重要的是，研究人员能够清楚阐述一些问题了。从来没有科学家说过，植物有大脑、神经系统或神经元。这只是比喻和类比，有时略显牵强罢了。

结论

显然，植物不是动物，但自然中本没有截然分开的界限，是人类设立了这些分界。生存机制把生物界集合起来，而不是将其分开。智能是人类、细菌和植物都有的生命特征！所谓不同，更多也是量的不同，而不是质的不同。是时候以新眼光去看待植物了，毕竟这些不可思议的生物与我们共处一个世界，占据这个星球生物质的 99%。





11

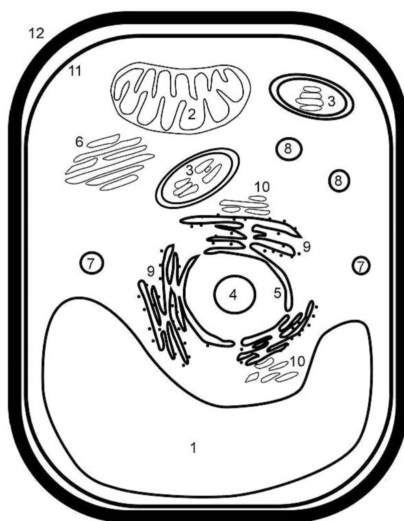
植物的小暖炉

北美的冬末依然苦寒。树林中，白雪像厚实的毯子覆盖着冰冻的土地。一片苍茫之中，一颗顽强的小苗从雪中探出头来，这就是臭菘。初春时节，其他植物还在白雪下沉睡，它却早早地开花了。臭菘的抗寒秘密何在？秘密就是生热作用，就像植物体内有个暖炉。

生热作用，这个词看起来有点陌生。其实，这是一种生化反应，在你体内每时每刻都在进行。生热作用指的是细胞因代谢活动，如细胞内外信息传递、物质交换和运输等而产生热量。但是，代谢活动的首要目的并非生热。我们可以把细胞内的生热作用比作灯泡将电能转化成光能的过程（相当于代谢活动），在照亮的同时，灯泡也放出了热量（相当于生热作用）。

生热作用如何进行？

植物是真核多细胞生物，也就是说，它们由许多细胞组成，细胞内有包含遗传信息的细胞核。植物细胞通常由不同区室组成（见下图），称为细胞器。这里，我们主要考察负责细胞呼吸的线粒体，而暂

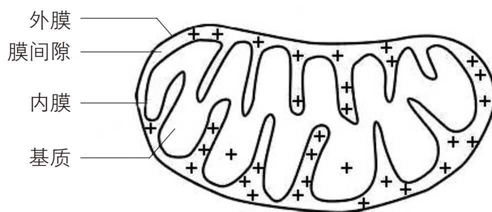


(1) 液泡 (2) 线粒体 (3) 叶绿体 (4) 核仁 (5) 核膜（4 和 5 组成细胞核）(6) 高尔基体 (7) 溶酶体 (8) 过氧化物酶体 (9) 粗糙型内质网 (10) 光滑型内质网 (11) 细胞膜 (12) 细胞壁

植物细胞的不同区室

时不管高尔基体、内质网和叶绿体等其他细胞器。

线粒体被薄膜分为两个区室——基质和膜间隙（见下图）。膜间隙中有许多氢离子，而基质中氢离子很少，这在区室间造成了浓度差。氢离子有一种自然的趋势，要穿过内膜到离子数量少的那边去。为了便于理解，你可以把线粒体想象成一座水力发电厂。氢离子从数量多的区室到数量少的区室，就像水从高处流向低处一样。水流推动涡轮机发电，而在线粒体中，氢离子的浓度差也起到高度差的作用，也可以产生能量，并以三磷酸腺苷（ATP）的形式储存下来，作为细胞的能量库。所有需要能量的细胞反应都会消耗三磷酸腺苷。



线粒体细节图。氢离子（以+号表示）在膜间隙的浓度高于基质中
© Ivan Domenech – Canis Créations Graphiques

我们再深入研究一下，线粒体里到底发生了什么。氢离子流向基质，参与三磷酸腺苷的生成，而此时，线粒体的内膜通过蛋白质网络发生电子转移。经过复杂的路线，电子与氢离子、氧分子结合，形成水，表达式如下：



$$O_2 + 4\ H^+ + 4\ \text{个电子} \rightarrow 2\ H_2O$$

电子到达内膜，会促使氢离子从基质回到膜间隙，在两区室间再次形成浓度差。还是以水电站为例，这就像在蓄水池下游装了一个泵，把水又抽回去，维持水库水位。氢离子穿过内膜，回到膜间隙也是一样的道理。

但这与生热作用有什么关系？有时蓄水池水量太大，用涡轮机发电会有风险，于是就要“泄洪”，把多余的水排出去。泄洪并不用于发电，蕴含的能量以其他形式释放，比如湍急的水流将改变地貌。线粒体中有时也会发生类似现象，自由电子走了其他路径，直接形成水，不再帮助氢离子从基质回到膜间隙。结果，氢离子浓度差没有了，不能生成三磷酸腺苷。细胞没有直接可用的能量，却发出了热量。这就是生热作用，起因就是线粒体中的电子改变了路径。

发热有好处吗？

不管外界温度如何，哺乳动物会保持体温稳定，这是机体正常运转的必要条件。代谢必须在某个温度区间内进行，否则效率就会降低。而植物的代谢活动通常受到温度等外界条件的约束，天气越冷，代谢越慢。在 0℃以下，植物代谢甚至完全停止，因为水已不是液态的了。细胞遭受了不可逆的损伤，植物会被冻死。

到了春天，乍暖还寒时，一场与时间的赛跑开始了。林下的矮生植物必须非常迅速地生长，好抢在乔木变得枝繁叶茂、遮挡能量来源——阳光之前完成出土、生叶、开花和繁殖，它们将快速走过大部分的生命周期。于是，某些植物趁其他植物因寒冷减慢代谢时，依靠生热作用加快代谢。其实，生热作用的各种功能还没有全部弄清。我们仅举几例。

对臭菘而言，开花时产热至关重要。一方面，这可以避免刚长出的脆弱结构受冻，另一方面，产生的热可以促进细胞和整个花序的生长，有利于生殖结构（花粉和胚珠）的产生，还能尽力吸引授粉者。热量有助于臭菘散发气味，那是一种像腐尸一样的味道……谁会喜欢这种味道？苍蝇啊！它们会被这种味道吸引，为刚从雪里探出头的花朵授粉。

肾叶臭菘（见下页图）是否产生热量的取决于年龄和发展阶段。其生殖结构不同时发展，而是依次发展，从未成熟、雌性、双性到雄性。雌性部分准备受孕时，植物温度最高，而雄性部分产生大量花粉时，生热停止。看来，生热作用的首要功能似乎是保护脆弱的胚珠不受寒冷侵犯，同时也散发臭菘特有的腐臭味，以便吸引传粉者，提高授粉概率。



(b) 水芭蕉（又名堪察加鼬芋）



有生热作用的植物（a）与无生热作用的植物（b）对比
左边是普通图，右边是红外图。在图（a）中可以看到，热量主要产生在花序中间。平均 22℃，植物其他部分 14℃。
© Y. Ito-Inaba, Y. Hida, T. Inaba, 2009.

放心，植物并不只在感觉不好时才会生热。木兰属的好几种植物都以生热作用吸引授粉者，特别是武当玉兰。它的香气告诉授粉者：“这里有富含糖分的花蜜！”授粉者也能收获花蜜，而臭菘的味道只是虚假的引诱。

生热作用对其他生物也有好处。亚马孙王莲的花朵温度比环境气

温高 10℃，夜间亦然。圆头犀金龟属的几种金龟子会利用这一温暖而舒适的环境寻找性伴侣、繁殖。依靠花的温度，它们可以取暖并节省自身能量，而省下来的能量就可以用于繁殖。这对植物也有利，当金龟子从一朵花到另一朵花寻找新伴侣时，也帮助了传粉。皆大欢喜！

每种植物都有生热吸引授粉者的策略，生热时间会根据是雌性部分还是雄性部分发育而有所不同，温度也会因花龄而改变，但机制都是一样的。

生热作用还能为植物带来另一个好处。在暖季结束、寒潮突至时，生热作用保护处于生长时期的组织不受寒冷侵害。对小麦胚芽的研究表明，小麦在突遇寒流时能进行生热作用，新长出的结构被保护了起来，等待天气好转……在正常天气条件和理想生长条件下，小麦不会进行生热作用，所以，其生热作用只是为了应对突发危害的防御机制，而不像臭菘的生热作用那样是一种常规行为。

在极地气候等极端条件下，物种也可见生热机制。一项研究表明，在温度突然降到 0℃以下时，南极洲的两种植物南极发草和南极漆姑草会进行生热作用，为采取其他防冻策略争取时间，而这些策略需要更长时间和更多能量才能实现。说穿了，这时的生热作用就是外部条件急剧变化时的快速防御反应。

总之，这种复杂的生化现象为许多植物提供了一张王牌。不管是为了提高授粉效率，还是为了抵抗外部气候，生热作用提高了植物的生存机会，有利于它们繁殖后代，为后代带来进化优势。真是一把“及时火”啊！





12 瓶中世界

英国人大卫·拉蒂默是一位天才的室内园艺师。1972 年，他将一株紫露草密封在一个巨大的玻璃瓶中。当我写下这篇文字时，这株草依然活得很好，真是不同寻常。

2013 年 5 月 16 日，我决定向拉蒂默学习。为什么选在这天呢？因为这天大气中的二氧化碳浓度超过了 400ppm。这一关口至少 200 万年没被突破过了。400ppm，即每 100 万空气分子中就有 400 个二氧化碳分子。听上去似乎没什么，但这是一个标志性界限，一旦越过就再也无法回头——气候变化几乎不可逆转。为了纪念这一事件，我把一株紫露草封在了一个小玻璃瓶里。

两个月后，这株植物生长到顶点，随后在不到两周内竟然彻底消失了！我的实验似乎和“生物圈Ⅱ号”一样无疾而终。“生物圈Ⅱ号”是美国空间生物圈公司在 20 世纪 90 年代初实施的一项大型实验计划，志愿者在巨大的密封玻璃温室中待了 3 年。这座玻璃宫殿覆盖了 1.27 公顷的面积，拥有人工生态系统，能进行农业种植。实验的目标是证明万一地球表面变得无法居住，在火星之类的地方，人类也能实现自给自足的生活。志愿者本应在温室中待满规定的时间，但在多次故障



2013 年 5 月，第一次制作密封生态系统
© Éric Leeuwerck

后，他们只能从外界获取氧气和食物。实验彻底失败！我们从“生物圈Ⅱ号”能得出什么结论呢？

首先，我们不可能偷运食物到火星上，氧气就更不可能了。所以，如果地球完蛋了，我们大概只能待在自己的星球上等死。其次，增进对“生物圈Ⅰ号”的了解至关重要。“生物圈Ⅰ号”就是我们这个蓝色星球上的生态系统，我们真正的生物圈。

我承认，实验结果令人失望。但我还是忍住了，没有打开小玻璃瓶疯狂地清理一遍，而是决定等一等，看看之后会发生什么。我的希望没有落空：紫露草逝去后的一年中，瓶子里缓慢而坚定地长出了其他类植物，包括类似苔藓的非维管植物，还有一种小型蕨类。

受此鼓舞，我决定和学生们一起在生态学课程中重复这一实验。



2016 年 10 月，同一个的密封生态系统
© Éric Leeuwerck

操作很简单：将一株或多株绿色植物（含有叶绿素而呈绿色的植物）和土壤之类的基质一起放入容器中，先敞开几天，然后密封，并放在阳光下——但不一定直射。我们特意告诉学校的保洁员，千万不要动这些奇怪的东西。就这样观察几个月，什么也不动。

不同玻璃瓶里发生了同样的事情：几个月后，原来的微生态系统消失了，让位给其他生长更慢的生态系统，肉眼可见其组成。

玻璃瓶里发生了什么？我试着解释了一下。总体而言，瓶中有机物、矿物和能量之间的平衡由两个生化过程决定——光合作用和呼吸作用。

光合作用由植物进行：植物吸收二氧化碳，释放氧气，产生有机



某学生的瓶子里先崩溃继而重建的生态系统，泥土分层都能看见！
© Éric Leeuwerck

物，并靠叶绿素吸收阳光；呼吸作用消耗氧气，利用有机物（可以视为碳和能量的储存）的能量，放出二氧化碳。土里的微生物会呼吸，在和学生一起用显微镜观察时，我看到了一些单细胞生物——草履虫或轮虫类。植物也会呼吸，尤其在夜间无光照时。土壤里的微生物和可能出现的真菌还有另一个作用：分解有机物，使其矿物化，给植物提供了养分。显然，一方的活动与另一方紧密相连。没有真菌，植物就没有养分；没有植物，就没有氧气；没有氧气，微生物和真菌就不能存活；没有微生物和真菌，就不会产生二氧化碳；没有二氧化碳，就不能进行光合作用；没有光合作用，就不会产生有机物，微生物也就没有食物……这样可以无穷无尽地继续下去！这就是瓶中微生态系统的基础。

现在我要试着解释一下，这一系统为什么在几个月后就崩溃了。玻璃瓶中发生的事主要分四个时期。

1. 绿色植物生长，光合作用占主导地位，吸收二氧化碳，放出氧气，总生物量（植物、微生物、真菌、细菌）增加。

2. 植物生长达到顶点，超过微生态系统维持平衡的能力——生态学上称为“环境承载力”。系统崩溃，光合作用和生物量锐减。在微生物的作用下，有机物分解释放出大量的二氧化碳。很快，微生物消耗了大部分氧气，数量达到最多。呼吸作用也达到顶点。之后，微生物数量急剧下降。以我的观察手段看不到这一事件，但我可以推测：植物减少，就意味着氧气减少，供微生物进行呼吸作用的有机物也就少了，那么微生物的数量自然就会减少。

3. 容器里的微生态系统崩溃，释放大量的养分和二氧化碳，氧气变得很少。吸收缓慢的其他植物有了生长空间，在极端条件下发展起来。一小部分存活或潜伏（因条件不佳而减少活动）的微生物随氧气增加而苏醒。

4. 以生产者（植物）、消费者（植物和微生物）和分解者（微生物和真菌）之间的物质、能量流动为基础，一个稳定的生态系统慢慢建立起来。

为什么拉蒂默的玻璃瓶生态系统没有崩溃呢？我承认，我也不清楚。我只知道，他等了 12 年才把瓶子密封起来，这可能给生态系统留下足够时间，与外界达到了平衡。为什么封口没有让瓶中的世界天翻地覆呢？我应该不会花 12 年来做实验，我这人比较随性……

我们从实验中能知道什么呢？首先，我没有大卫·拉蒂默的天才；其次，生态系统可以消失，而新平衡会在新条件的基础上建立起来；最后，要消灭生命必须深入其所在之处，就算是一个小小的玻璃瓶也一样。

瓶子里发生了什么

我继续规律地观察密封的瓶子和其中独自发展的小世界。

它让我想起 20 世纪 70 年代初，美国国家航空航天局从太空拍回

的第一批地球照片。我们的星球包裹在大气中，如此孤寂、如此惊人，看起来就像玻璃瓶一样脆弱。从全人类的尺度上说，由太空进入地球生态系统的物质量可忽略不计。这也意味着，如果氧气或饮用水越来越缺乏，我们也不能指望神秘的地外资源。人类能否保住生存的必须品，取决于生态循环的节奏。如果太多二氧化碳被释放到大气中，或者污染物在生物圈不断积聚、很难清除，那么我们就要承担后果。

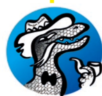
玻璃瓶中的微生态系统和第一批太空照片中的地球何其相似！这深深打动了我的学生们。“生态学”，这门研究生态环境和其中生物的科学，在他们眼中逐渐清晰起来。我可能做不出拉蒂默的实验，但从教学的角度来讲，我也成功了。

我的“400ppm”实验开始后两年，农学工程师巴勃罗·塞尔维涅和生态顾问拉斐尔·史蒂文斯发表了一篇几百页的专著——《为何一切都会崩溃》，探寻人类的环境和社会要面对哪些变化。通过这本书，我终于知道脏兮兮的瓶子里发生的事叫什么——“生态系统崩溃”。研究这种崩溃会给人类文明带来怎样的后果，是一个崭新的跨学科科研领域，两位作者称之为“崩溃学”。崩溃学虽然意指人类大难临头，但这并不是“灾变论”[①]，而是有科学基础的。我也了解到，其他生物学家也做了和我一样的实验——当然，方法更严格。他们研究环境改变对种群数量的影响。美国佐治亚大学奥德姆生态学院的研究员约翰·M. 德雷克和南卡罗来纳大学的研究员布莱恩·D. 格里芬将一些水蚤和小甲壳类放置于越来越恶劣的条件中——食物资源减少。在 8 代以后，水蚤族群崩溃了。其他科学家在酵母、蓝细菌和水生生态系统中也观察到类似现象。他们得出一个结论，处于崩溃边缘的系统需要更多时间才能从微扰中恢复，其“韧性”降低了，科学家称之为生态系统的“临界放缓”（critical slowing down）。

① 灾变论“预言”灾难，煽动情绪，不以事实为基础。

在更大尺度上，我们可追溯许多陆地生态系统崩溃的原因，借此解释某些远古文明灭亡的原因。这也正是《崩溃：社会如何选择成败兴亡》一书的主题。这本经典成功之作出自美国生物学家贾里德·戴蒙德之手。他在书中说，砍伐森林和耕地侵蚀可能导致了玛雅文明的衰落。更让人脊背发凉的是，某个生态系统一旦出现崩溃的先兆，情况就已然很难逆转了……

我们的社会依靠化石能源运转，从环境中巧取豪夺，但这有赖于生态系统的稳定，大型生态系统一旦崩溃，很可能导致我们的文明“崩溃”。我的实验很简单，结论也很简单：在我们生活的瓶子里，唯一能改变气候走向的是我们自己。不要等明天，现在就行动！





13 植物会沟通，“说”得还不少

在黑话里，人们把耳朵叫作树叶，
他们觉得树也懂音乐。
但树的语言才是更古老的黑话，
谁知道它们谈起人类时会说什么。
树说树话，
就像孩子说孩子话。

——雅克·普莱维尔，《故事》，1968

这是雅克·普莱维尔《树说树话》一诗的开头。为什么要起这么个标题呢？说到沟通，我们自然而然地想到语言，毕竟这是人类主要的沟通方式。但这并不是唯一的沟通方式，更不是使用最多的方式。众所周知，蚂蚁和蜜蜂之类的动物能巧妙地沟通，但很少有人想到植物也会沟通。不会动，不发声，种在滋养它们的大地里，很难想象植物怎么沟通……

通知猎食者！

南非比勒陀利亚大学的沃特·范·霍芬是首先证明植物也会沟通的人之一。20 世纪 80 年代，他在研究扭角林羚大量死亡的怪现象时（见“植物不为人知的才能”）发现，刺槐被攻击时会提高单宁含量，叶子会变得又苦又涩，动物就不想吃了。而附近的刺槐也会收到被攻击的刺槐发出的警告。信息是通过一种挥发性有机化合物——乙烯从一棵树传到另一棵树的。这并不是刺槐特有的气体，在我们所生活的这个纬度（巴黎处在北纬 49°），杨树也有同样的现象。

从这个发现开始，科学家报告了许多植物间沟通的事例。植物通过释放、接收化学信号，真是沟通的一把好手。

植物不仅用挥发性有机化合物和其他植物沟通，还以此和动物沟通！如果植物向捕食性昆虫发出化学警报，这些昆虫就会来保卫植物。比如，黄瓜被讨厌的二斑叶螨攻击时会释放挥发性有机化合物吸引捕食二斑叶螨的另一种蜱螨——智利小植绥螨。后者会跑来把“讨厌鬼”吃掉……烟草也一样，它不但会在被攻击时会放出化学警报，还会根据害虫的种类和生长阶段不同而释放不同的信号！如果来捣乱的是粘虫的幼虫，烟草就会放出信号引来粘虫盘绒茧蜂，它们会在粘虫体内产卵，令其一命呜呼；如果粘虫更成熟，烟草就会放出不一样的信号，其他“保镖”昆虫就会出现……这样的例子不胜枚举。

美人计

植物与动物沟通不仅是为了自卫，这对繁殖也至关重要！如果你不能移动，自身无法定位，最近的同类也可能在几百米之外，怎么才

能找到性伴侣？大家应该都知道答案——传粉。正如动物会亮出自己最美丽的色彩来吸引伴侣，某些植物也会开出鲜艳的花，吸引昆虫给自己当“媒人”。胡蜂、蜜蜂、蝴蝶等许多昆虫都会来花朵上采蜜，不知不觉就沾满了花粉（含有花的雄性生殖细胞）。之后它们飞到另一朵花上，花粉接触到雌蕊（花的雌性生殖器官），授粉就成功了。

有些植物没有花蜜，但也需要靠昆虫传粉来繁殖。那它们怎么吸引媒人呢？色诱啊！蜂兰就长得非常像蜂，还会放出与雌蜂信息素相似的化学信号，更具迷惑性。雄蜂被这种花的外表欺骗，来花里蹭啊、蹭啊……不经意间就帮蜂兰授了粉。有些植物放出的气味还可以模仿一顿大餐。生长于印度尼西亚的阿诺德大王花[①]能长出很大的肉质花瓣（直径可近1米，重达10多千克！），散发出一种强烈的腐肉味，令苍蝇难以抗拒，一拥而上，还以为找到了一具死尸。臭菘也会极尽所能地发热，因为更高的温度有利于它发出的臭味扩散（见“植物的小暖炉”）。

昆虫被征服了，伴侣也找到了，接下来就要播撒种子，占领新地盘，保证物种的延续。有些植物依靠风和重力把种子带到其他地方，有些则长出色彩鲜艳、口味香甜的果实引鸟来吃，鸟儿消化掉果肉，在排泄时把种子撒在大自然中。搞定啦！

走开，别挡住我的阳光！[②]

让我们以一件更神秘的事结束这段快速的回顾，那就是植物的一大特别之处：“树冠羞避”（crown shyness）。20世纪50年代，这种现

① 不是《宠物小精灵》里的霸王花。赶紧给我把精灵球收起来。

② 语出古希腊哲学家第欧根尼。有一天，亚历山大大帝来拜访他，问他有何需求，第欧根尼却答道：“有的，请让开，别挡住我的阳光！”——译者注

象首先在澳大利亚得到研究。某些树，比如某类松树，会与相邻同种树的枝叶之间留出约 80 厘米的距离。从下往上看，光好像在一片阴暗的天空中曲折蔓延，形成了一个迷宫。比邻的两棵树会商量好，不要互相遮挡？这一沟通机制目前还不清楚。两棵树的沟通可能是靠气体交换，也可能是靠叶片中的光敏素，而它们通过探测接收光线的光谱，分辨出同类的影子和障碍物的影子，在被遮住前能相应地调节生长。

某些树的根部也存在“羞避”现象——相邻树的根不会缠在一起。是什么让同类之间保持树枝和根不交错呢？这还是一个谜……

现在我们懂了，植物会沟通，而且话还很多。人类沟通经常只是闲聊，植物则不同，它们沟通是为了和周围的动、植物互动，而且在和非同类沟通时，甚至有欺骗、玩弄之嫌。我们在此就不深究了，你也不想研究植物“拟人论”吧？



14

大脑的电超能力



我们大脑中约有 1 万亿个神经元通过电流沟通，这种电活动可以被记录、分析和改变。这一章将让大家看到，人们如何用电流减少大脑的神经障碍，如何驯服电流，让它赋予我们念力和心灵感应等超能力！放心，我们说的不是电视节目里那种骗人的魔术，而是真正的科学，更准确地说，是神经科学。

用电流缓解症状

在大脑中安装电极传导电流？这可不是科幻电影。以此为原理的一种疗法正让越来越多的病人受益，这就是脑深部刺激术。

这种方法早在 20 世纪 60 年代已被试验过。20 世纪八九十年代，法国格勒诺布尔大学医院的神经外科医生阿利姆·路易·本纳比和皮埃尔·波拉克研究出一种治疗帕金森病的方法，并第一次将其用于临床治疗。帕金森病的特征是神经递质多巴胺在黑质中的分泌及储存减少。脑黑质区虽然小如一片隐形眼镜，却拥有约 50 万神经元，而且集中了人脑大部分的多巴胺。如果多巴胺神经元逐渐死亡，就会影响相

连的神经元网络。当神经元退化达 50% 以上时，症状就会出现：病人开始颤抖，肌肉开始僵硬，动作变得艰难而迟缓。

在病发初期，病人可服用左旋多巴等药物来弥补多巴胺的缺失，这类药物的分子可在人脑中转变为多巴胺，以此减轻症状。但在几年后，一些恼人的药物副作用就出现了，病人会出现不自主的动作，同样令人困扰。

这时该电流上场了：运用脑深部刺激术。具体怎么做呢？将两个电极放入大脑深处的底丘脑核——这个部位与自主动作相关。之后，电极与刺激器相连。刺激器通常置于锁骨下方，可释放高频（100 至 200 赫兹）电流。这种刺激可缓解乱动症状，但无法治愈疾病——人们至今仍不知道多巴胺流失的确切原因。然而，病人可以更好地控制身体了。

手术相当复杂。在植入电极前的几小时，医生要在病人的颅骨上装支架，进行核磁共振或 CT 扫描。一旦底丘脑核中的目标被准确定位，手术就可以开始了。医生在病人颅骨上钻孔并放入电极，然后唤醒病人进行刺激测试，检查电极是否放置正确，确保没有副作用。调试到最佳状态之后，再将装置植入。病人休息几日就可以出院回家了。

脑深部刺激术为什么能抑制病人的症状呢？一般看法是，帕金森病让底丘脑核目标区域过于活跃，引起了非自主动作。让高频电流通过此区域，令其不再活跃，症状也就减轻了。

今天，脑深部刺激术也用于治疗某些严重的强迫症。它对神经性厌食症、抑郁症、阿尔兹海默症患者的疗效也在评估之中。其实，这项技术能够拓展到任何与神经元机能障碍有关的疾病上。当然，对每一个病例都要准确定位目标区域，采用合适的刺激。

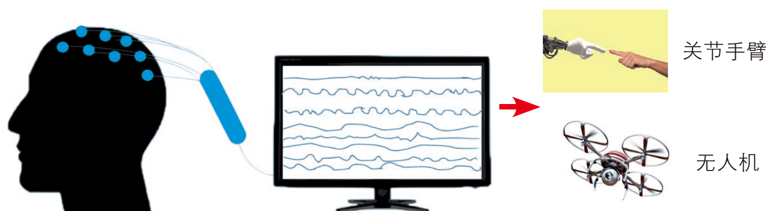
念力：神话还是现实？

现在让我们来关心一下念力，也就是以意念移动物体的能力。这可不是无稽之谈，有许多科研团队正致力于此项研究。更确切地说，他们正在开发"脑机接口"（BCI）技术，其作用就是让大脑直接与计算机沟通。1973 年，美国科学家雅克·维达尔第一次提出了"脑机接口"概念。有了它，人们不用说话、不用动手、不用按钮，只要集中注意力，"动动脑子"就可以控制物体！

这怎么才能实现呢？首先要诠释人脑中的"意念"，具体来讲，就是要记录大脑的电活动。1924 年，德国科学家汉斯·贝格尔发现，将电极放在颅骨上可探测到电流，虽然测得的电位非常微弱，只有几十微伏，但已足够显示大脑皮层神经元的活动。记录下的波形不是由动作电位[①]引起的，而代表了电极下神经元极化和去极化状态的总和。波形通常不规则，这取决于大脑活动的强度。不过我们还是可以按波形的强度和频率得出一些特别的图形。比如，将电极放在颅骨后部，如果受测者心情平静，双眼闭合，我们就能记录到 α 波（在 8 至 12 赫兹）；如果受测者双眼睁开，我们就能记录到节奏更快的 β 波（12 至 20 赫兹）。当我们小心地将信号与背景噪音分开后，还能看出大脑对刺激的回应。通过这种被称为"脑电图"（EEG）的技术，我们能分辨出好几种活动。当然，医生不可能知道你到底是回味着办公室里某位同事的迷人微笑，还是畅想着下次假期。但是，如果电极放置合适的话，医生可以看出你是不是正在动手臂。

---

① 动作电位指的是可兴奋组织或细胞在受到刺激时，在静息电位的基础上会产生的快速、可传播的电位变化。——译者注



脑机接口的原理：将脑电图接收器放在颅骨上，记录大脑的电活动，再交给计算机诠释，发出合适的指令。

为了在现实中实现念力，放置得当的电极要将信号传给计算机处理。而困难就在于此。首先要过滤并去掉底噪，然后再放大信号并分析，找到明确的任务，比如“从上到下动左胳膊”。这是最棘手的部分！一旦意念被正确解码，只要命令被遥控的物体前进、停止，或者命令关联软件做出移动光标、点击等动作即可。

这项技术很容易实现，而且造价经济实惠，只是动作不太精确。信号穿过颅骨时会改变，记录下的电流也对应着许多神经元。为了让动作更快、更准确，就要用入侵方法，在大脑皮层中或硬膜（灰质）下植入电极栅，这样获得的信号只对应 1 个至 10 多个神经元，可以更精细地区分大脑中的不同任务。

脑机接口给肢体残疾者带来了生活的希望。2004 年 6 月有了第一个成功案例。美国人马特·内格尔被人用刀袭击后瘫痪。人们将含有 100 多个电极的装置被植入他的脑中，准确地说是在控制左臂动作的大脑皮层区。计算机与电极相连，识别出马特想要运动左臂的脑活动。有了这个装置，马特可以控制计算机光标、遥控电视、查阅电子邮件，还可以在屏幕上以一定的（低）精度绘画。2011 年，一位四肢瘫痪的妇女成功地控制机器手臂给自己倒了一杯饮料——这就更困难了。最近，法国雷恩农业研究院的研究人员还实现了以意念控制无人机……

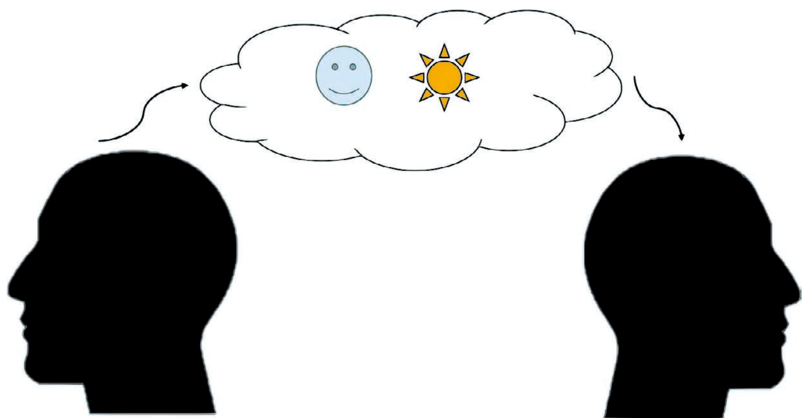
众多科研团队正致力于此。相信在不远的未来，四肢瘫痪者或者

健全人，也许只用意念就能控制外骨骼了！

心灵感应：马上就要实现了吗？

最后让我们来谈谈“心灵感应”，也就是通过意念沟通的能力。这又该如何做到呢？看过上文后，你可能会想到，能不能在两个感应者之间加个计算机？这就是“脑脑接口”（BBI）。和脑机接口一样，它也能记录大脑的电活动并解码，然后在接受信息的大脑中产生另一个电活动。

2013 年，华盛顿的一个研究团队在两个研究员之间第一次实现了大脑连接。2014 年，该团队又在志愿者身上重复了这一实验。第一个被试（发令者）面对屏幕上的电子游戏，他要用大炮击退敌人，保卫城市。但他不直接动手，而是想象开炮时手的操作动作。他带着装满电极的头盔，其脑活动以脑电图的形式被记录下来，实时传给计算机。接收信号的被试坐在另一个房间，也戴着头盔。头盔里有线圈，发出的磁刺激可穿过颅骨。他看不见游戏画面，只是把手放在触摸板上。



当脑脑接口起作用时，发令者只要想着开炮，相应信号就会传到刺激接收者头盔的线圈上，后者的大脑控制手产生动作，他的手就会按压触摸板并完成开炮！被试自身条件不同，游戏精度也会不同。

这仅仅是迈出了第一步，但前景已是非同寻常！和脑机接口一样，对于瘫痪者，比如闭锁综合征患者来说，脑脑接口的传递信息会非常有用。美军对此也饶有兴趣，不难想象他们会拿它作何用途……显然，真正将此革命性理念付诸实践之前，人们还有一段路要走，并非明天你就可以派个“僵尸学生”代你去考试！



15

金属乐使人平静

在恶的枕上，三倍强大的撒旦，
久久抚慰着受蛊惑的精神。
我们的意志是一块纯净的黄金，
却被这位伟大的化学家化作轻烟。

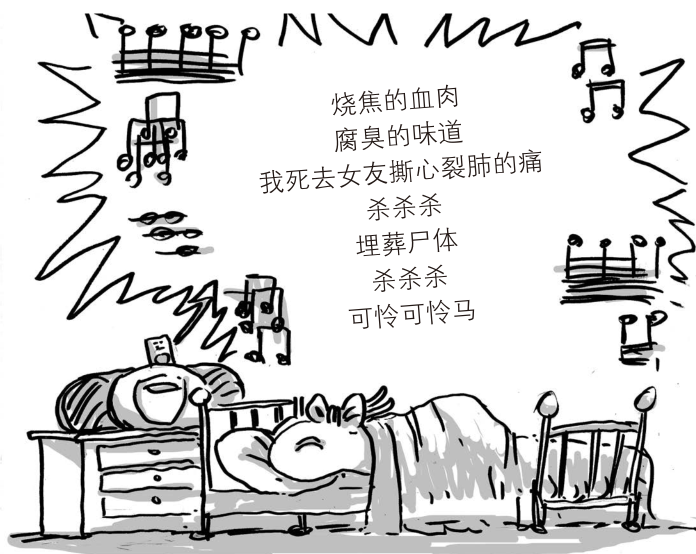
——波德莱尔，《告读者》(《恶之花》，1857)

什么？金属乐能使人平静？！

你先别急，听我们解释。

首先，这不是我们说的，是澳大利亚昆士兰大学心理学院的吉纳维芙·A. 丁格尔和她的学生利娅·沙曼说的。她们于2015年在《人类神经科学前沿》杂志上发表了一篇论文，题为《极端金属乐与愤怒管理》。所以，你先别恼火。

我们先来说说什么是“极端音乐”。2013年，沙夫龙和卡尔诺认为，对科学家来说，“极端音乐”的特点是混合了“混乱、嘈杂、沉重、有力”的声音和富于情感的人声，歌词通常以“焦虑、抑郁、社会隔绝和孤独”为主题。许多音乐的类型和亚类型被视为“极端”，



我们可以就此讨论好几个小时。不过，沙曼和丁格尔将极端音乐归纳为朋克、重金属、硬核、死亡金属、情绪硬核（emo）、尖叫硬核（screamo）几类。总之，比《泡泡糖》（*Bubble gum*）这首歌粗糙一点的音乐都算极端。

我们先不管两位澳大利亚心理学家的音乐造诣如何，重要的是，科学家研究极端（非极端）音乐与情绪及行为的关系已经许多年了。我们可以把这个问题概括成一个经典问题："相关还是因果？"

研究者认为，极端音乐的特性"自然而然"使听者愤怒，需要通过攻击、犯罪、吸毒或自杀等行为来泄愤；另有人说，听音乐的人早已愤怒了，才会选择这些极端音乐，原因它们让人激动，能帮助听者管理已有的情绪。

沙曼和丁格尔就是要搞清楚这两种说法孰对孰错。她们在 39 个人身上做了一个小测试，看看极端音乐对愤怒管理有何影响。为了量化

愤怒，她们把敌对攻击性的主观衡量结果和持续心率记录（越愤怒心率应该越快）综合在一起考虑。

测试分为三个阶段。在第一阶段，被试首先填一份问卷，即“积极与消极情感量表”，以便量化他的脾气和感觉，然后参加“压力面试”，以引起其愤怒，他们要做的是在 16 分钟里描述生活中让自己暴跳如雷的事件。在第二阶段，被试要再填一份上述问卷，看看压力面试是否有效。然后，被试休息 10 分钟，期间一部分人听音乐，他们可以听自己喜欢的音乐——当然得是极端音乐；其他被试不听音乐，作为对照组。在第三阶段，所有人再填一些问卷，包括又一份“积极与消极情感量表”。被试全程被要求测心率，真像被试的羔羊一样……

沙曼和丁格尔表示结果十分清楚，“人们通常认为极端音乐会引起愤怒和攻击行为，其实不是”。听极端音乐并没有增加被试的愤怒，反而激发了他们的积极情感，而对照组没有观察到这一点。结论：“听极端音乐可作为一种健康的愤怒管理方式。”购买“食人尸”乐队的专辑能用医保报销了？乐迷们赶紧行动啊！



这项研究旨在辨明两种说法孰对孰错。到底是极端音乐引起愤怒，还是人们愤怒了才听极端音乐，因为极端音乐能帮助管理愤怒？但我们还是要指出研究方法上的局限——研究者自己也承认——被试已经被明确告知，自己要参与一项关于极端音乐“潜在好处”的研究，而且被试还是从心理学学生中招募来的……被试中 41% 会演奏一种乐器或会唱歌，这意味着他们接触音乐比较多，况且其中 60% 还声称在市面销售的音乐中最喜欢听“经典金属乐”。他们恐怕不能代表全球人口。最后，当然也是最重要的，实验中应该设立第二个对照组，倾听另一类音乐，这样才能分清，到底是“听音乐”这件事本身利于愤怒管理，还是极端音乐确有其独到的益处。

沙曼和丁格尔表示，在让怒气冲冲的音乐爱好者放松下来的 46 段音乐中，有一半包含了攻击性歌词或者含有引人愤怒的言语——一想到这些伟大的知识先驱要研究 Marduk 的歌词“我要割破你的喉咙，刺穿你的舌头”，就让人忍不住发笑——其余内容有关孤独和抑郁，等等。我们之所以要说到歌词，是因为它激起了另一方面的研究，不是音乐对行为的影响，而是言语对行为的影响。

2016 年，《大脑与神经》杂志（*Cerveau & Psycho*）发表了一篇题为《歌曲如何操纵我们》的文章。行为科学家尼古拉・盖冈在文中指出，越来越多的研究关注的是歌词而不是旋律，揭示了歌词对人类行为的影响。将女性视为性对象的饶舌音乐对人的影响堪忧：歌里说“去酒吧喝酒”，结果就真的有人会去——如果你开酒吧，不妨播放这种歌。听伤感的情歌也只会让人更郁闷。在一次几近折磨的实验中，尼古拉・盖冈发现，如果等候室的背景音乐是弗朗西斯・卡布雷尔的《爱她至死》（*Je l'aime à mourir*），明显会有更多女性愿意把手机号留给陌生人，但如果播放的歌是文森・德莱姆用“绵羊音”哼唱出来的《喝茶时间》（*L'Heure du thé*），由于这首歌与爱情没有明显关系（其

听不同类型音乐的效果



弗朗西斯・卡布雷尔



樊尚・德莱

实这首歌与什么都没太大关系),因而愿意把手机号留给陌生人的女性就少得多。

好吧。把卡布雷尔和 Marduk 做对比,结果会怎样?

如果你想知道结局,不如给研究机构捐点钱吧。但在此之前,你要知道极端音乐也没有逃过歌词学研究者的好奇心。2011 年,美国伊利诺伊州诺克斯学院的两位心理学家约翰・马斯特和弗兰克・麦克安德鲁在一篇论文中眉也不皱地声称:“结果清楚表明,导致攻击性行为的是歌词,而不是其他音乐特征。”

马斯特和麦克安德鲁是如何得出这个令人不安的结论的?当然是用辣酱了!

别着急,听我解释。这两位心理学家采用了一种品德败坏,但已通过验证的方法:从前的方法是让人把辣酱倒进水里逼迫别人喝,拿枪逼迫他人的人比不拿枪的人倒得辣酱更多,其睾酮水平也更高。现在,心理学家把枪换成歌词很暴力的音乐,招募一些心理学学生(如果你多读点心理学论文就会发现,心理学学生貌似都靠参加这种实验赚取学分),让他们听金属乐,然后再做“辣酱测试”。诀窍在于要分三组:两组被试听的歌曲相似但歌词不同的金属乐,一组听到的歌词很暴力,一组听到的歌词不暴力;第三组作为对照组不听音乐。“暴力

歌曲组”听的是“反英雄”乐队的《血肉淋漓》(*Bloodmeat*)和《肢解》(*Limb from Limb*),“非暴力歌曲组”听的是“堕落体制”乐队的三首歌。结果听“反英雄”乐队作品的那组被试添加的辣酱明显比另外两组多。

你可能也发现了,这里有个矛盾。之前说,听极端音乐是健康的愤怒管理方式,但这里却说,如果歌词太具有攻击性,它能诱惑你用辣酱灌入别人的嗓子眼。这怎么解释?

许多心理学研究的方法都值得商榷,马斯克和麦克安德鲁的方法也一样,尤其是被试的资格——心理学系的学生还能不知道这是在干什么?我们还可以质疑所选音乐是否合适,“堕落体制”乐队卖出了许多专辑,其实挺主流的,而“反英雄”乐队的音乐则凶猛得多,很难想象两者会产生一样的效果。更严谨的方法难道不该是用同一段歌曲,而只是歌词不同吗?更糟糕的还在后面,马斯特和麦克安德鲁在文末承认,实验中发生了一个不受控制的技术意外:“不幸的是,冰箱故障导致唾液样本受损,我们无法得出睾酮数据。”不能把观察到的差距与任何一项“客观”生理指标挂钩,也就不可能得到真正可靠的东西……

矛盾没有解决,我们既遗憾,也欣慰。因为人类的音乐品味这一复杂现象无法分解到音乐的组成部分里来讨论。言归正传,现在来看看其他心理学家如何高屋建瓴地研究了金属乐对年轻人所谓的“有害”影响。

父母已经看到子女有许多成长的烦恼——青春期、身份认同、家长和社会压力、与同龄人的关系、性萌芽的苦恼等,如果他们再发现子女听“问题”音乐或者身着奇装异服,估计就要绝望了:“完了,他会染上毒品,荒废学业,最后躺在沙发上看电视过一辈子。”家长们请放心,事情完全不是这样!

上班族“金属乐”爱好者



正面



背面

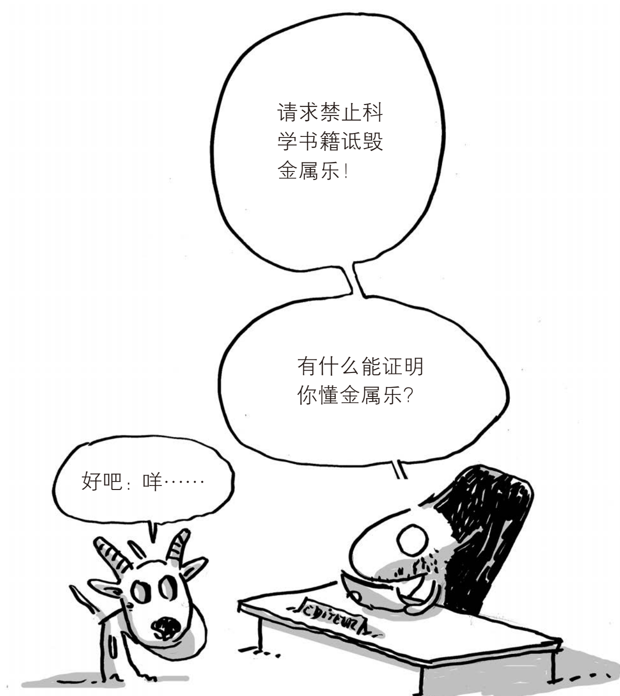
当然，有些研究表明，认同边缘音乐的青少年更容易有自杀倾向或不合群行为，但长期看来如何呢?

为了搞清楚事实，美国加州洪堡州立大学的塔莎 · R. 豪和同事们通过在线问卷详细调查了一群 40 多岁的金属乐爱好者——疯狂粉丝、专业音乐人士和普通乐迷，此外还有一个 40 多岁的对照组——爱一切，就是不爱金属乐，以及都是普通学生的第二个对照组。研究结果于 2015 年发表在《自我及身份》(*Self and Identity*) 杂志上，题为《30 年后: 20 世纪 80 年代重金属乐发烧友、音乐人和乐迷在中年的经历和发展》。至少可以说，他们的研究结果打破了一些成见。

总体而言，追星的女粉丝比普通女性更疯狂，搞音乐的人更容易冲动，金属乐迷在年轻时的生活就像他们所尊崇的文化那样，更注重“性、毒品、摇滚”。这并不出人意料。但我们也看到，对一种音乐类型、一个乐迷团体的强烈认同感帮助他们避免了最坏的事情，比如自杀、身心问题、不适应工作环境等。更棒的是，他们说自己的青春虽然迷茫，但也因为金属乐而觉得很幸福，现在，他们甚至比那些不听金属乐的人更能适应成年生活。另外，他们的知识水平也很好，完全

能养活自己。研究者说："这些结果表明，边缘文化确实能吸引遭遇困难而可能采取风险行为的年轻人。但这种文化也有着保护作用，为自我身份正在形成、需要巩固的年轻人提供了联系和归属。"换句话说，金属乐使人平静，而且效果还是长期的。

如果你仍心存怀疑，我想提出第四篇关于金属乐的创意论文，即加拿大埃德蒙顿麦克尤恩大学的心理学副教授罗德尼·施马尔茨在2016年发表于《心理学前沿》（*Frontiers in Psychology*）杂志的文章。他考察了许多据说与听音乐有关的自杀和暴力事件。同时，他向共事的教授们提议在课堂上使用重金属乐来发展学生的批判精神，引导他们质疑事实，批判地检查"控方"论据，提出检验论据有效性的方法，



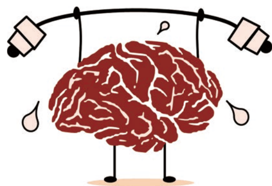
并最终通过查阅相关科学文献得出自己的结论。金属乐还能发展批判性思维呢！

这真是个有趣的提议，不仅可以推广科学方法，还可以打破成见，也许应该劝说那些心理学专家朋友们，让他们别再抓着极端音乐不放了……

什么时候才能看到这样的文章呢？"暴力态度和学业延期：接触萨尔萨舞的不良后果""蹦迪对激动和愤怒的影响""青少年行为问题与唱诗班：法国南方一所初中的案例研究""伦巴舞与青春期烦恼的关系：现实还是假象？""对弗拉明戈舞的偏爱、交友不慎、社会管控与违法犯罪""优等生的阴暗面：天赋过人却喜欢军乐队？"①

① 你可能也看出来了，真的有这样的研究。只不过，我把标题里的金属乐换成了其他类型音乐，结果看起来不太科学。





16 大脑不是用来思考的

此刻，你正开动大脑读这几句话。大家都知道，所有人的头里都有个大脑，如果把大脑从颅骨里拿出来，人就死了……这是一个普遍的常识，但我们对大脑的了解并非一朝一夕得来的。

我们自认为知道的……

最早提到大脑的文献是公元前1600年古埃及的一份纸草书[①]。这份纸草书近乎于一篇科学文献，写的是头部在受到击打等暴力创伤的后果。作者是一位外科医生，他很可能处理过战争创伤。这是最早描述了脑脊髓液和大脑皮层的文献，堪称史无前例。因为当时，人们对身体的这一部分及其作用还不甚了解。

公元前4世纪，思想家亚里士多德认为大脑只是个散热器，脑袋大可以帮助人们保持冷静，所以人类比其他动物更理性。虽然希波克

① 这份纸草书称为“埃德温·史密斯纸草书”。显然，它不是以自己的古埃及作者命名的，而是以1862年购入这份纸草书的收藏家命名的。

拉底等人对此产生了怀疑，但许多学者还是站在亚里士多德一边，把思想和情感归于心脏。在几个世纪里，出于道德和（或）宗教的原因，人们很少进行人体解剖，所以这方面认知也没什么进展。公元 2 世纪，盖伦曾指出思想形成于颅骨内。但直到 19 世纪，人们才了解脑信号的电性质，20 世纪初，神经元才被发现。

今天，大家都知道了思想、情感、对世界和自己的认识形成于脑中。我们的大脑极为复杂，甚至可以说是人类至今所知宇宙中最复杂的结构。人类当然以此为傲。这让我们感到自己在自然界中地位特殊，很开心地忘了自己的其他特质：比起某些动物，我们的感官可以说是极不发达；我们没有厚厚的皮毛和锋利的爪子，牙齿也不够锋利……人类应该算是一种弱小的生物。但实际上，人类是一种大型动物，比起大部分天上飞的、水里游的、地上跑的、草里爬的或是一动不动的动物，我们都要更大、更强。智人（Homo sapiens）是可怕的长跑健将，可以把猎物追得筋疲力尽；他们的视力也不差（患有近视和散光的不算）。然而，惊人的脑指数[①]才是人类的骄傲，仿佛我们具有一种"超能力"一样。我们很容易把大脑当成人类区别于其他生物的标志，因为不管就个人而言还是对全体人类来说，我们都对大脑的运作方式和进化史都知之甚少，也不清楚大脑如何产生了一种无法解释的东西——意识。

人类曾经的无知实在令人汗颜。未来几千年后，人类可能也认为今天的我们对大脑的认识十分有限，对大脑运作的猜测太过草率。不过有一件事可以肯定：大脑不是用来思考的。你可能会痛斥我"太荒

① 脑指数（Encephalization Quotient）用于衡量某一物种大脑与身体的比例，这也是大脑的实际大小和预期大小之比，预期大小按照相近物种的身体比例得出。比如，人类的脑指数是 7.44，倭黑猩猩的脑指数是 2.80，猕猴的脑指数是 2.09。

谬！”所有人都知道，我们用大脑思考，这显而易见啊。我们确实用大脑思考，脑力在人类进化史上也扮演了很重要的角色。然而，“大脑是用来思考的”这句话的问题出在“用来”一词上。这个随手拈来的词看似无关紧要，却恰恰体现出我们没有真正领会进化论。如果大脑是用来思考的，那么所有大脑都应该会思考。我们快速回顾一下大脑的进化过程，就会发现事实并非如此。

大脑进化简史[①]

大脑能运行起来，是因为组成大脑的细胞能对化学信号或电信号做出反应，协调应对环境。这种能力可不是一朝一夕造就的。有研究表明，非常原始的单细胞生物领鞭毛虫用一种化合物交流，而这种化合物和人类大脑神经元交换的化合物一样。领鞭毛虫也有钠离子通道（允许钠离子通过的膜状结构），和人类大脑神经元用来传输电信号的通道一样。领鞭毛虫很可能类似于 8.5 亿年前动物界诞生之初的生物。

其次，多细胞生物的某些细胞专管信息传递，让生物能更好地回应环境变化。海绵没有神经系统，但人们却在它们身上找到了类似于神经突触的结构[②]。

大约 6 亿年前，我们的祖先还像虫子一样，它们变得两侧对称，一些神经元聚集起来形成神经节，中枢神经系统由此发展。最精密的神经节在嘴和眼的旁边。在脊椎动物中，文昌鱼有初级的大脑，它由一个控制游动的结构和一个控制视觉的结构组成。这一目的动物几亿年来一直如此，没有再给自己的脑添加灰质，但过得也挺好。有人甚

① 这一节受到大卫·罗布森《大脑简史》（*A brief history of the brain*）一文的启发。此文于 2011 年发表在《新科学家》杂志上。

② 神经突触是两个神经元之间专门的接触区域，用于交换化学信号。

至认为，肠鳃纲（包括海蠕虫）在一代代的进化中失去了大脑。这证明，有大脑也不全是好处。大脑的运作成本很大，要消耗很多能量，所以保留它未见得有益。

运动是解谜的关键

神经生物学家丹尼尔·沃尔伯特认为，这些都说明动物获得大脑，完全是因为需要运动：怎么移动，怎么回应环境，怎么做出合适的动作……也许，正是因为面对这些挑战，动物的前身才在自然选择的促使下慢慢产生了大脑。

海鞘纲的奇特性质佐证了这种观点。这是一种原始形态的海洋脊椎动物，与我们化石中的共同祖先近似。在其生命周期中，幼虫阶段十分"自由"，而成虫阶段需附着在其他物体上。幼虫阶段的海鞘能游泳，在找到附着物后，它就变态进入成虫阶段，永远不再移动。因为不需要再做任何运动，海鞘会消化掉自己的神经系统。

继续沿着"进化树"观察演变过程，我们就会发现脊椎动物进化出了鱼的形态。其大脑发展出的一些结构今天依然在人类的大脑中。比如视顶盖，它让我们注意到视野中值得关注的物体。又如杏仁核，该组结构位于边缘系统的中心，边缘系统与情绪密切相关。所以，杏仁核参与判断刺激能带来何种情绪，我们本能的恐惧反应和愉悦反应都源于这一区域。

接下来，生命在进化树上化为两栖类，继续受益于更大、更复杂的大脑。2.5 亿年前，哺乳动物出现了，它们的大脑相对于身体迅速增长。在远古哺乳动物的颅骨化石中，人们发现最先发展起来的是嗅觉和触觉相关区域。更晚一些，与人类有亲缘关系的动物发展出脑半球外层，这个新皮质与边缘系统紧密相关。6500 万年前，恐龙消失，哺

乳动物兴盛，灵长类在环境的“选择”下变得视觉发达、行动灵敏，而这些特征都少不了大脑的处理能力。

进化到了灵长类，进化历程已过大半。灵长类动物行为复杂，个体间的互动和社会生活也变得重要起来。我们比较不同种类的灵长类就会发现，个体间关系越多，大脑就越大，额新皮质就越发达。大脑已能够运用海量信息进行抽象和推理。人科（即灵长类中“我们”这一科）的大脑越来越大，而灵长类中与人科相近的其他科却没有获得更大的大脑，它们变成了各种猿和猴。但是，这一切还有待一个重要事件的发生——人类直立行走，离开丛林……我们祖先的大脑直到2500 万年前才与灵长类近亲彻底区分开，这一变化的真相尚不清楚，反正肯定不是为了研究数学或追寻存在的意义。

这次，大脑增长可能与咀嚼肌有关。我们祖先的饮食变了，咀嚼的需求减小，咀嚼肌也就没那么发达了。颅骨的物理束缚很可能减少了，于是颅骨得以扩展，给大脑留出更多空间。从此，各个组织开始相辅相成，事态开始急速发展：更大的大脑可以想出更好的办法，获得更多的资源，而多得的资源又营养了大脑，让大脑变得更大……人类学会用火后，烹煮食物也起到了类似的作用。结果，脑子越大的个体越容易存活，其后代亦然。

随着语言、工具和学习的发展，文化出现了。这为人类的生存带来了新的优势。一旦学会说话，自然选择必然促使相关生理特征固定下来。加上性竞争——它让孔雀的尾羽更艳丽夺目，人脑再度增大（具体机制还在研究之中）。终于在 20 万年前，智人出现了，我们的旅程开始了。我们是进化历程中一个暂时的极端，正如之前所有世代的祖先一样。

貌似寥寥几笔就讲完了人类大脑的进化史。但是我们不能就此以为，自然中有一种力量促使生命向着拥有越来越大的大脑发展。某些

脊椎动物看似如此，但这远不是其他更大范围的生物的普遍规律。另外，从智人诞生之初到现在，我们的大脑其实轻微地缩小了。而且别忘了，在人类中，拥有最大大脑的是尼安德特人，他们在三四万年前就已经消失……

大脑最初产生是为了运动身体。那么，大脑到底是如何产生的？生态系统最终被拥有发达大脑的物种统治，这又作何解释？像我们这样庞大的大脑，其真正的作用是什么？

预测未来？

我们周围的生物都是复杂进化的结果，它们继承了前代的特征。物种、个体之间的竞争慢慢消灭了不适合生存与繁殖的物种和个体，无情地推动基因不停突变、混合。经过30多亿年的进化，如今生物具有的特征都能保证最大存活概率——只要环境继续遵循以前的规律变化。由此说来，大脑和胰腺、大脚趾一样，我们今天拥有它们，是因为它们帮助了我们的祖先生存和（或）繁殖。从定义上说，所有器官都是生存器官。这是进化论的基础。虽是老生常谈，我们还是看看这种观点能把我们带向何方。

上文已经说过，大脑很可能是为了控制动作而产生的，不会动就没有大脑。可是，大脑为什么会变大？大脑对生存有何作用？两个问题的答案其实密不可分。巨大的大脑可以更好地预测周围将发生的事，以便采取行动，保证生存。我们可以把大脑视作展现未来的腺体，动物借此做出合适的举动。

大脑如何"展现未来"？来看看它如何一步步运作。大脑先把视觉、嗅觉、平衡、疼痛等感官信息集中起来。从接受信号、传输、综合、转译到形成环境认知需要几百毫秒——画面是一瞬间之前的，所

以感知其实属于过去！动作也一样，中枢神经系统的某处产生命令，通过神经传给器官，再做出动作，这也需要几百毫秒，所以动作也不可能立即做出，只能在一刹那之后。

动物必须有能力对环境带来的挑战、机会和危险做出适当反应，才有最大的生存概率和繁殖机会，并把特征传给后代。礼尚往来：大脑利用瞬间之前的数据忠实地描绘瞬间之后的世界，让身体及时反应，提高生存和繁殖的机会；身体也保护、滋养大脑，将大脑的生成编码在基因中。大脑的主要作用是让身体跟上环境，尽管有不可消除的延迟。

在《自私的基因》一书中，理查德·道金斯在乔治·C. 威廉斯所做研究的启发下，认为生物都是由基因产生的“生存机器”，身体只是基因的载体，保证基因的传播。大脑让我们的祖先活得足够长，能有效地繁殖，所以大脑适应生存。但是，如果生存是大脑产生的唯一推动力，那么我们对世界的认知就无须符合现实。因为对人类这种社会性种族来说，其他因素可能比现实更重要。从人类生存角度来说，他人形成的环境最重要，甚至胜于自然环境，大脑应该能适应这一重大因素。在这种环境中，理性——以推理形成思想的结构性思维，并不一定是最好的，所以数学、逻辑、某些科学学科和一些特别费脑子事情从根本上就不吸引人。我们觉得这些事情很复杂，是因为我们的祖先并不需要在这上面出类拔萃，进化并没有让他们天生具有这些能力！

总而言之，我们能拥有认知能力和智力，是因为自然选择了能够预测“社会互动”等情况的大脑，也是因为我们的祖先在选择性伴侣时更看重大脑。

人类并不一定要有理性思维的能力。但是，这种能力无疑能带来巨大优势，让人类世代都能更有效、更长久地开发赖以生存的资源。可以想见，这种非常独特的特征一出现，就被自然选择青睐。然而，

拥有一个巨大大脑需要消耗很多能量，这不见得是动物真心想要的装备。证据是，有巨大大脑的动物很少。人类可能是整个地球生命史上唯一拥有如此复杂大脑的生物。我们也不知道为什么……

不管怎样，好好用吧！

总之，你在思考时用的器官只是漫长进化史的意外成果。在这一过程中，大脑带来的一连串好处为"意识"的出现做好了准备，而意识是推理和思考的先决条件。不管意识的出现是生命合理的必经阶段，还是概率极小的偶发事件，为什么会存在这种"思考物"？这个问题本身就会让我们思考很久……大脑不是用来思考的，所以思考是一种复杂而充满陷阱的活动。为了好好思考，我们还要对付直觉性错误。这是大脑固有的问题，因为它原本是要适应草原的生存环境！我们要用科学方法筛选想法，避免粗略的推理偏差和成见。科学方法是我们达到精炼思想的最佳选择，可以让我们摆脱大脑的历史遗留问题和不理性的糟粕。

大脑，是第一个探究自己存在理由的器官。





17

我们真的只用了 10% 的大脑吗？

小说、电影和媒体都在鼓吹：我们只用了 10% 的大脑！于是有人异想天开，觉得一旦超过这一限制，人类就能解锁非凡的智力；另一些人更狂热，认为这样能超越宇宙间的物理规律，比如可以用念力弯折勺子，甚至用思想而非语言交流……咱们先说清楚，这两种说法都是不切实际的幻想。最重要的是，“人类只用 10% 的大脑”根本只是传言，在科学上是错误的！

但是，这个传说是怎么产生的呢？我们无法确定到底谁是始作俑者，但能找到几个可能的谣言来源。

神秘的起源

从时间上说，最早的线索可追溯到一个叫威廉·詹姆斯的人。18 世纪末 19 世纪初，这位杰出的美国心理学家与同僚鲍里斯·席德斯一起发展了“储能”理论，这一理论的基本观点是：人们只利用了大脑潜力的一小部分。为了证明他们的理论，两位心理学家在抚养小威廉·詹姆斯·席德斯（也就是席德斯的儿子、詹姆斯的教子，孩子与

教父同名）时，采用了创新的学习方法，不断刺激他的智力。孩子很快就显现出神童的特质：能说好几种语言，特别有数学天赋，10 岁前就通过了哈佛大学的入学考试。这就是证明啊！人类的大脑确实被束缚了。如果有合适的环境，大脑就可以挣脱枷锁，开发非凡的潜力。

但这都是假的，不科学、太夸张。威廉·詹姆斯·席德斯确有其人，他的父亲确实是鲍里斯·席德斯，其教父也确实是威廉·詹姆斯。但他本人的大部分名声和"成就"其实都是靠忽悠。另外，"储能"理论也很荒谬，更像是特异功能学说，而不是真正的科学。

至于那著名的数字"10%"，威廉·詹姆斯从来没提过。唯一能把他与这个数字联系起来的是洛厄尔·托马斯的一句话。托马斯是一位作家，与新闻和演艺界的关系更近，对科学研究不甚了解。他曾"引述"道："哈佛大学的威廉·詹姆斯教授常说，人们平均只开发了10% 的大脑潜力。"詹姆斯是否说过这话尚存疑问。但是，美国演讲家戴尔·卡耐基的畅销书《如何赢得友谊及影响他人》（书名真够直白的）的序言里确实引用了这句话。这不过是句引用的话，又出自一个模糊的理论，是否可信值得商榷，况且它还是成功学类书籍里的广告语！

另一个来源和爱因斯坦有关。为了解释自己理解世界的独特方式，这位著名的物理学家可能在某次记者会上说过，人类平均只用了 10% 的大脑，而他可能超过了这个数字。和前一种来源一样，这种说法也没有可靠的证据，没人能确定爱因斯坦真的讲过这话。不过，这位物理天才以异于常人的幽默闻名，类似这种话他说不定真能对记者说出口，用来嘲笑自己觉得滑稽的问题。就算爱因斯坦真的说过，而且是认真说的，也不能证明人类只用了 10% 的大脑啊。一个领域的泰斗在其他领域不一定是专家。

过时、被曲解的科学结论

传说很可能来自科学研究。这种推测更严肃，也可验证。

首先是卡尔·拉什利的研究。20 世纪 20 年代，美国心理学家拉什利想找出大脑中负责记忆和学习的部分。他用大鼠做了好几次实验，认为负责记忆的区域在大脑表面，即所谓大脑皮层，但不知道确切位置。于是，他对大鼠大脑皮层的不同地方造成损伤，然后让大鼠在迷宫中完成记忆任务。拉什利原本假定，如果大鼠能完成测试，表示参与记忆的大脑皮层部分未受损，失败则表示受损。这样一来，只要检查一下失败的大鼠脑中哪些区域受损，就可以找出记忆中心。但是，实验做了将近 30 年，他也未能找到这个区域，不管损伤大鼠大脑皮层的哪里，它们都能通过记忆测试！拉什利通过研究证明，大脑皮层各区并无分别，也没有特定功能。

这个结论为"大脑大部分未被利用"的传说埋下了种子。从实验结果看，这么解释似乎很合逻辑。可是，我们稍加注意就会发现，拉什利并没有真正观察到大脑某些部分未使用，只是发现很大一部分没有特定的、分化的功能，他绝对没有说这些部分不工作！拉什利的研究其实证明了，重要的认知功能散布于全脑。

几年后，许多研究成果质疑了拉什利的结果，更加确定传说是错的。研究证明，大脑的功能分区极为明确。拉什利的结论有待讨论，并非因为他不够严谨，而是记忆测试没设计好——太简单，无法测出微小的缺陷。总之，拉什利的研究没有为传说提供任何令人信服的科学依据。

传说的另一个来源可能是一个事实：大脑神经元不会全部同时工作的事实——这已被科学证实了。所有神经元同步运转会导致癫痫。

但请注意，这个事实也不意味着大脑某些细胞一点动静都没有。有研究证明，神经元要存活，必须有一定的基础活动，表示可以从周围接受信息。换句话说，每个神经元都应该是活跃的，只是不能全部同时活跃。不难想见，有些人错误地诠释了这些科学结论，认为每个时刻只有 10% 的神经元活跃，而各个时刻的这 10% 神经元又不同。但这也没有任何科学研究支持，就算顺着这条路走下去，“10%”这个数字结论依然太过武断。

最近又有研究表明，神经元不是唯一的脑细胞。长期以来，科学家认为脑中的神经细胞固定在一种胶质里。实际上，这种所谓的胶质也是由细胞组成的，称为神经胶质细胞，数量比神经元还多。这一发现动摇了人们对大脑结构的既成观念。神经元在大脑中是“少数派”，而且神经胶质细胞不只有简单的支撑作用而已，在某种程度上，它们也会介入神经元的信息处理，参与大脑运作。这为宣称“我们只用了 10% 的大脑”的人提供了新的立足点。在他们的逻辑中，神经元的比例少，恰恰说明我们没有完全开发大脑的潜能，神秘的神经胶质细胞也许可以帮助提升脑力。虽然神经胶质的作用尚在研究中，但研究者已经有了共识：神经元和胶质细胞的比例不是 1∶9。两种细胞在大脑各处的比例不均匀，相差没有那么大。科学事实也没有为“10%”提供任何支持。

总之，传说既可能起于科学伟人的一句话，也可能源自严肃的科学研究。无论如何，我们已确认，伟人的话和科学研究都不能作为荒唐说法的基础。轻点说，这是错误的诠释和刻意的歪曲，重点说，这是无中生有的谣言。然而，这种伪科学传言还可能继续流传。为了彻底终结它，说服那些心存侥幸的人，我们现在提出一些论据，不仅要推翻传言，还要表明一个事实：我们已经用了全部的大脑。

从进化角度来看，完全是无稽之谈

从进化的角度看，大脑未被完全利用的想法完全是荒谬的。生物学的进化论解释了物种在时间长河中的转变和多样化，而这一切的动因是基因突变。突变自发而随机，发生在个体的遗传物质中，有时会导致物种的某些个体出现新特征。如果新特征让个体更适应生存或繁殖，就会被保留下来，并一代代传播开。相反，如果突变没有带来任何优势，甚至给生存和繁殖造成了额外的困难，它就会被逐渐消灭。这一筛选过程称为自然选择，是物种进化的机制之一。

回到大脑上来。人类大脑约占体重的 2%。相对重量小，能量消耗却极大，接近机体总能量的 20%。如果你了解自然选择的过程，那就会明白，进化不可能保留一个消耗如此巨大、却只能用 10% 的器官。假如一个器官真的只能利用 10%，那么几千年的进化肯定会大幅度改变其结构：无用的部分被去除，减少能量消耗；加强利用，达到最高效率。

另外，最近的研究成果表明，大脑中有些特定细胞能抑制健康却无效的神经元之间的联系。这就表面，进化一定会让大脑最优运行，而办法就是强迫大脑只保留有用的元素。

科学证据推翻传言

如果用最新的技术工具去研究大脑的基础活动，会得出一样的结论。科学家有两种方法，来研究大脑具体部位在行为中的作用。

第一种方法和拉什利的方法一样：观察脑部损伤（肿瘤、脑出血、颅外伤等）后的病人无法再做什么，就可以推断出受损部位的功能，

而某一区域就此与特定功能对应了起来。只要设计出足够复杂的测试，能显现出受伤个体的缺陷就行。

第二种方法是研究没有损伤或病态的大脑在做出某一行为（认知或运动）时的运作方式。研究者可测量多种参数，将所研究区域的功能定量、定性。当被试在做出某一行为时，参数如果有变化，研究者就知道目标区域参与了进来。

通过对脑部受伤者的无数观察研究，研究者确认，大脑没有哪部分是无用的，不管哪个区域都在信息处理、动作准备或行为实施中发挥着作用。

另外，上世纪出现了越来越完美的技术，比如脑电图、脑磁图、核磁共振成像、正电子发射计算机断层扫描……有了这些尖端工具，大脑功能的研究者大量记录、测量、描绘了脑活动，但不管是电活动、磁活动、化学活动还是代谢活动，没有一项科学研究表明，健康人脑中有一个完全没有动静的区域。

不管是损伤法还是脑活动测量法，所得结论都一样：大脑被百分之百地使用了。

总之，没有任何证据可以支持"我们只用了 10% 的大脑"的说法。科学证据不仅驳斥了这种传言，还证明了我们已经使用了全部大脑。

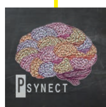
吃一堑、长一智

人们从中可以得到什么教训呢？唤醒大脑沉睡的部分，就能有不同寻常甚至超自然的能力？你想得太美了，这不可能是真的。很不幸，许多影视作品，比如吕克·贝松导演的《超体》会时不时唤起这个幽灵……

我们也要看到，关于大脑的谣传不止这一个，还有许多，它们被

统称为“神经迷思”。其共同点是都来自对脑功能的错误认识，貌似以科学语言表述，其实是乱用了术语。这通常是因为人们对研究结果阐释不当，要么过度简单化，要么抓着过时的研究不放。谣言就算已被推翻，还是会留在人们的思想中，很难清除。不明就里的人很容易被伪科学说服，相信表面说法。为了提防上当，识别谣言很重要。

“我们只用了 10% 的大脑”的谣言是一个教科书式的案例，只要稍稍追根究底，就会发现它站不住脚。在科学或健康方面，对任何“一刀切”的说法都要仔细提防！不管是驳斥一种想法还是肯定一种想法，论据永远应该用科学方法得出，通过观察和实验找到具体证据，花时间对比数据，排除孤立的结果。只有经过仔细检查，我们才能得出有根有据的答案。不管是谁说的，不给出论据、论证和参考文献，就不算是科学的说法。不被伪科学蒙蔽，与伪科学斗争，这是每个人的责任。所以，发展批判精神至关重要。现在就开始吧！把这篇文章读上几遍，翻翻参考资料，找出相悖的观点。调动起你的全部大脑，形成自己的真知灼见吧！



18

嬉皮也暴力

“他连苍蝇都舍不得杀！”“他像只玩具熊一样。”“他温顺得像只小绵羊。”这些说法让我们想当然地认为，一个人的个性明确而稳定。这种感觉在鉴别“好人”“坏人”时会更加强烈，虽然这种区分也只是“相对而言”。我们容易武断地认为，某个人很可能或不可能做出某事。如果“坏人”突然变“好”，而“好人”突然变“坏”，我们就会很惊讶。同样，我们倾向于认为，许多行为主要受个性驱使，尤其是攻击性和暴力性行为。我们很容易接受环境[①]会影响心情，让人发怒、让人平静这一观点。但是，要承认环境会以一种微妙方式不知不觉地影响我们，就没那么容易了。或者说得更可怕一点，环境会让我们做出有悖自己价值观的行为。我们对最后这一种观点的认知严重不足。环境的作用多种多样，甚至在潜移默化中能把我们变成罪犯……

---

① 此处的“环境”指所有的外部影响，可以是房间的温度，也可以是别人的行为。

电视上看到的

这一刻你在读书——这很好！但你肯定也有过更消极的休闲方式，比如看电视。你觉得电视节目有时很暴力吗？你觉得电视节目会让自己变得更有攻击性吗？读了上段引言，你肯定能猜到答案：没错，电视会让我们更具攻击性！

难道只是看电视就会让人变得暴力，不管看什么内容都会如此吗？那也不是，暴力画面当然比《小熊漫游独角兽王国》之类的动画片影响更大。不幸的是，不看动画片容易，躲开暴力场景却很难。我们平时注意不到，但这却是事实。

只看少儿频道总可以了吧？还是不行……剧情老套，总是好人打坏人，而且人物打斗也不可避免。所以，孩子最好在大人陪同下看电视。

只有孩子会被影响吗？可别忘了，上文说的是“我们”。成人也很容易受影响，只是“我们”很少意识到而已。我们的心情会因看电视而改变，比如，当看完最新一部《洛奇》系列电影后，我们会惊讶地发现自己激动得不能自已。但我们通常会认为，这种情绪影响一会儿就过去了。其实我们错了！电视对我们的影响很微妙，有时还是长期的。这方面已有无数的科学研究可以确证无疑！这里仅举几例。

研究者在人为条件下的不同实验中观察到，被试观看完一个暴力节目后比看完一般节目更具攻击性。

有研究者多年跟踪一组人，分析他们的逐渐变化。J-G. 约翰逊等人的研究持续了 17 年，力图将媒体影响和社会环境、收入水平等其他因素分开。他们得出结果：一个人看电视的时间越长，攻击行为越多。

一些更早的研究考察了某些地区在出现电视后的社会变化，发现该地区人的攻击性水平整体上升了。

以上研究表现出一种共识，这正是研究的真正价值所在。论文如此之多，结果如此之统一，让我们得出清晰的结论：电视让人更有攻击性。这的确发人深省。要知道，86% 的法国人每天都在看电视！我们曾深信这种休闲方式没什么坏处，而且曾以为自己不会被媒体影响。看来真的要戒掉电视了……

他人即地狱

既然如此，如果电视对我们有消极影响，那不如回到现实生活中来，多和人接触，多和朋友见面，这样总能压制我们的攻击行为了吧？社会规范和法律的作用不正是如此吗？人多力量大啊。

可惜这又错了，事情没那么简单。被人关注自然会激励我们上进，有时甚至会推动我们超越自己，但群体动力有时并不可靠。

如果责任在群体中被稀释，决策的后果不再由一个人承担，那么一群人更容易不加考虑地冒险。1964 年，M-A. 沃勒克、N. 科根和 D-J. 贝姆做了一个实验：被试先选择测试难度，然后回答问题；答对才有奖励，难度越大奖励越高；在群体讨论后，被试普遍会选择难度更大的测试，也就是说，群体会选择冒更大的风险！

再举一个例子：大家因意气相投而形成群体（比如论坛小组）时，成员更多是和同观点的人交流。于是，我们看到一种"极化"现象：群体成员的观点越来越鲜明，甚至觉得其他群体的态度越来越异常。这种趋势非常不好，照此发展下去，群体成员可能会开始贬低他人，变得不近人情……

另一个现象是，混在人群中，往往能更好地隐藏身份。如果有他人在场，就算这人与我们没有特殊关系，但我们也在他眼中，受他评判，这会让我们处事更有分寸。但人越多，个人就越不起眼、越难以

被辨认出来，也就不易受到指责，这时我们的攻击性就会增加。讲个具体的例子。一位研究者考察了 21 个跳楼或跳河自杀的案例。如果自杀事件发生在白天，而且没有什么人围观，那么一切和我们想象的差不多：围观者屏气凝神，一起劝那人不要轻生。但如果事件发生在晚上，围观的人又很多，就会有人冷言冷语，甚至起哄让那人快点跳……我们混迹人群之中，对社会有益的自发性行为反而越少，有时甚至产生更多恶意。

求人不如求己

如此之多的外部因素把我们推向暴力，保证自己继续当个“好人”的方法只有一种：永远做出自己的思考。但，这够吗？

很不幸，这依然不够……在群体中，不仅仅是身份会被隐藏。“键盘侠”更容易有暴力言论。在网络论战时，人们会痛斥异见者，言语比真人面对面时更激烈。然而更让人惊讶的是，制服也会改变我们的行为。制服会消除个性，让我们认同非个人的东西。穿着制服，我们就扮演了一个角色。制服不但影响着穿制服者，也让其他人有所感触。穿上龙袍就是太子了？ 1979 年，约翰逊和唐宁做了一项实验，让被试穿着制服，匿名或者公开身份，并比较了两组被试的行为。被试都是女性，有人穿了“三 K 党”[1]的制服，有人穿了护士服，每组有一半人蒙面。以研究“习得过程”为借口，她们要电击别人，强度由她们自己选择（当然有上限）。结果，身穿“三 K 党”制服的人会选择更强的电流。如果被试蒙着面，那么她选择的强度更大！好消息是，蒙面

---

① “三 K 党”（Ku Klux Klan）是美国一个奉行“白人至上”并歧视有色族裔的种族主义组织。——译者注

的假护士反而比不蒙面的假护士更能为他人着想。这些都说明，我们越是匿名行动，越会认同自己外表可见的特征——不管是所在群体的外表，还是自己的外表。我们的个性又少了一点。

但是，我们终究清楚自己对别人做了什么啊！同情心应该会阻止我们滑向“原力的黑暗面”吧？

道理看似不假。但有研究表明，一个人越受苦，就越容易想让别人也受苦——明知有多痛，也下得了手！在许多心理学实验中，研究者让被试选择以可忍受的强度对他人进行电击或制造噪声等。就观察结果来看，知道别人会受罪，也不会让被试手软……

杀人放火，无所不为

上文提到的电视、制服、匿名、“责任摊薄”等因素只是增加了攻击行为的概率，或是加重了这些行为。单个因素应该不会毁掉我们善良的本性。当然，如果足够多的因素加起来，可能会让我们做得更过分……然而，这也不至于让我们施用酷刑或去杀人吧？

科学给出的数据依然不乐观。最著名的社会心理学实验之一就是1971 年由美国心理学家菲利普 · 津巴多所做的“斯坦福监狱实验”。志愿者被随机分为“犯人”或“看守”两组，大家知道分在哪一组都有可能。实验像个角色扮演游戏：看守尽力管理监狱，犯人被编上号，大家都按身份着装。在几次犯人反抗、看守镇压之后，游戏感完全消失了。看守出现了暴力、羞辱行为，而犯人也开始服从。只是，这些可预见行为（原因上文已说过）远远超过了实验者的预期：实验原计划进行 14 天，但在 6 天后不得不终止；志愿者入选时都没有生理或心理障碍，但经过这 6 天后就大不一样了，许多被试在结束实验时出现了情绪紊乱。

这项实验充满了争议，方法也不太科学，所以很难被彻底解读。实验的伦理问题也很突出，不可能再做一次……但它还是让人们清楚看到，所谓的“普通人”能干出什么事。美军在伊拉克巴格达中央监狱的“虐囚丑闻”就是人性最悲哀的回响。从 2003 年起，这座监狱在伊拉克战争期间由美军管理，此后虐囚事件四起。2004 年，丑闻终于爆发了。极端侮辱人格的虐囚照片曝光，囚犯提供了骇人的证词，数位美国军人被问罪。

我们都是潜在的刽子手吗？许多情况都有一个明显的共同因素——服从。如果我们认为某一权威合法，而它又要求我们去杀人，我们就可能会去杀人……这就是所谓的“权力服从”（obedience to authority）。

1960 年，社会心理学研究者斯坦利·米尔格拉姆进行了一项实验，这也是此领域最著名的实验之一。最初，米尔格拉姆只是想弄清“普通人”为何会参与纳粹的暴行。他让被试以为自己参加的是一个研究习得过程的实验。被试扮演老师的角色，实验者作为权威出现。在实验者的控制下，被试电击学生以示“惩罚”。电击被说成是促进学习的方法。学生每多犯一个错误，电压就提高 15 伏，最高可到 450 伏。实验依此进行。被试首先在自己身上测试 45 伏的电击，确认实验的真实性。在旁边的房间中，学生被绑在椅子上，戴着电手环，背诵单词表。被试发现学生出错时，先要提示正确答案，然后说出惩罚电击的电压，并按下电击开关。实际上，学生也是欺骗被试的同谋，他们的痛苦反应都是假装出来并事先录好的……学生不停出错：从 75 伏起，被试开始听到学生的呻吟；从 120 伏起，已经有学生说受不了了；从 150 伏起，学生请求饶了自己。此时，大部分被试都产生了怀疑，但穿着正式的实验者会批评“老师”的犹豫不决，并命令说：“请您继续！”如果“老师”还是不信，实验者就继续坚持：“实验要求您继

续。""您一定要继续，这是规定。"并在最后命令："您没有选择，必须继续！"如果这时被试依然坚持自己的决定，要求停止，那实验就结束了。我们知道，450 伏的电压已能致命，机器上也明确写着这非常危险。应该没几个人仅因为一个穿着正式的实验者让自己继续实验，就真的走到这一步吧？实验之前，数位精神病学家预测，仅有 2% 的被试会用到 450 伏的电压，电压平均值最高不超过 150 伏。

然而，实际结果是 62.5% 的被试用到了 450 伏的电压……按照这一结果，我们中有将近 2/3 的人会对别人进行可能致命的电击，仅仅因为权威人士要求这么做，而且是一再用站不住脚的理由劝说！同时，被试平均用到了 368 伏的电压，最低也有 135 伏。如果实验者就在被试身边，那会有 90% 的人用到 450 伏的电压。如果由他人代按开关，甚至有 92% 的人坚持用到 450 伏的电压。

读到这些结果时，我们的第一反应肯定是不相信。我们永远不可能干出这种事情，我们肯定是那 37.5% 或 8% 终止了实验的人！大部分人都以为自己是"那一小部分人"……这个矛盾发人深省。聊以自慰的是，没有一个被试在实验中感到愉悦，他们都表现出极大的不适。另外，这个实验被认为会造成心理创伤。如果现在有人想再做一次的话，必须建立严谨的程序，满足非常严格的伦理要求。不过，这类实验在最近几十年里经常以不同形式重现。

米尔格拉姆也提出，某些变化会降低人们的"服从"倾向。比如，假如被试能看见学生或者与学生有身体接触的话，仅有 30% 至 40% 的人会用到 450 伏的电压；如果下命令的人不像科学家，而像个"普通人"，那只有 20% 的人会用到 450 伏的电压；最令人惊讶的是，如果冒出第二个实验者提出异议，所有被试都会抓住这个机会停下来，没有人会一路走到底。

这不仅关系到科学实验中的权威，所有形式的权威，家庭、公司、

军队、宗教……都可能引发盲从。

让我们回到上文提出的第一个因素——电视。2009 年，几位导演决定制作一部纪录片[①]，批评真人秀的不正之风。他们采用了米尔格拉姆的电击实验，测试电视上的权威是否也能让人服从。实验在摄像机前进行，人们假装正在录制一档名为《极度地带》的节目。电击的机器看起来更可怕，还有现场观众的鼓掌喝彩（都是导演在现场引导的）最能激励人继续实验。一位女主持人代表权威，统领一切。在这种情况下，80% 的参与者在“上电视”的压力下用到了 450 伏的电压。当然，纪录片经过更改，很难和原实验相比，但其方法混合了诸多因素，以至于很难诠释其结果。但“80%”这个数字的确令人忧心，而且并没有让电视的固有负面形象有所改观……

这次实验让人们走得更远。之后，有人还进行了性格测试。什么样的性格特征有利于反抗？什么样的性格特征会鼓励人服从？结果很令人吃惊：最容易尊重权威的性格，最容易用到高电压的性格，居然是“认真、亲切”。这种人往往更相信别人，更关心别人，所以大体上更容易顺从别人。

这一结果最直截了当地证明，“好人”可以变成“坏人”！在“服从权力”的情况中，最“好”的人也最容易施暴。当然，这不涉及施虐，因为被试的行为通常明显与其意愿相悖。

既不致命，也不绝对

除了上述因素，还有其他力量会把我们推向暴力，其影响往往是

① 这部纪录片叫作《死亡游戏》，由克里斯托夫·尼克编剧，2009 年由法国电视台和瑞士法语广播电视 1 台联合制作，2010 年 3 月第一次播出。

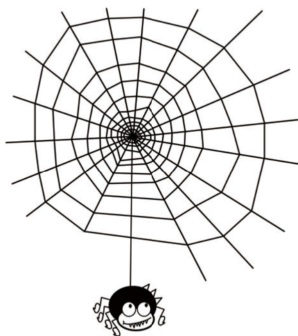
潜移默化的，芸芸众生概莫能外，就连温顺、有梦想、反对任何形式的权威、一心爱好和平的嬉皮士也不例外。但我们也不能因此陷入绝望，陷入宿命论。还有许多因素能让我们成为“好人”，通过培养某些性格特征，就能防患于未然，比如学着不服从。这看似没什么道理，却能防止大家误入歧途。所以，典型的嬉皮士依然是最不会施暴的人！因为他们不容易服从。

还有一个重要因素可以帮助我们抵抗暴力影响：保持警惕。希望大家在读完这篇文章后，能有所警惕。

总之，我们要抛弃“好人永远是好人”的错觉。外部条件对行为的影响比我们想象的要大得多。当然，也不能把所有行为都归结为“情非得已”，我们很容易用这种态度为自己开脱……如果怎么方便就怎么解释，那就一定会出错，比如借酒装疯，“酒精令人失态”真的不过是个漂亮的借口。



19 恐惧也遗传



你是否曾经自问，自己为什么会是现在这个样子？金发、黑发、红发，蓝眼睛、绿眼睛、黑眼睛……你肯定知道答案，这些个人特征都是由 DNA 编码而成的。DNA 就像一张建筑设计图，所有关于体貌和功能的信息都写在其中。更确切地说，每种特征都是由一个或几个基因决定的，而基因就是 DNA 的一段。DNA 被特殊蛋白质解读并转录为 RNA。我们可以把这些特殊蛋白质比作“工头”，它们知道如何看建筑设计图，并能把信息传递给“工人”——细胞中的其他作用机制，生产所需的东西——蛋白质，保证机体的基本功能。这些过程都不是特别复杂。

所有个体都继承了父母的基因，双方各占一半。DNA 代代相传的特征，也就是从出生起就有的特征，称为“遗传特征”。你在一生中还可能获得其他特征，比如，如果你生活在阳光灿烂的地方，皮肤就会被晒黑；如果你经历过特别颠簸的飞行，就会害怕坐飞机……直到最近，人们也一直认为这些获得的后天特征，这些没有写在基因里的特征，是不会传给后代的。

但是在 2013 年 12 月，权威科学期刊《自然 · 神经科学》上发表

的一篇文章中，美国研究者指出，恐惧记忆也可以传给下一代！亚特兰大埃默里大学的布赖恩·迪亚斯和克里·雷斯勒用条件反射让小鼠"学会"害怕苯乙酮（樱花香的特征分子）的味道。第一代雄性小鼠（F0）每次暴露在苯乙酮气味中时，它的爪子就会被轻微电击，直到它形成恐惧条件反射，也就是说，只要闻到苯乙酮的气味，小鼠就会害怕。随后，研究者在下一代小鼠（F1）身上发现了父辈的恐惧造成的种种影响：一方面，F1 代小鼠对此气味的反应更大，比当初尚未形成条件反射的父辈小鼠 F0 紧张得多；另一方面，F1 代小鼠拥有更多可感知苯乙酮气味的感觉神经元。这些特征也出现在试管培育的再下一代小鼠（F2）身上。值得注意的是，F2 代并未接触过 F1 代，所以，



© Pellichi

这些新特征必定是通过精子，也就是通过 DNA 传递的。

这一发现质疑了“后天习得特征不会传给后代”的观念。如果 DNA 序列这张建筑设计图既未被修改过，也未加入新基因，那么新特征又是怎么传给后代的？

事情变得有趣了。迪亚斯和雷斯勒研究了亲本（F0）及其后代（F1）的精子，发现调控苯乙酮感知的基因被“低甲基化”了。这个词看起来很专业吧？

简而言之，甲基化可以调节基因的表达。如果基因“超甲基化”，那它就会表现得很弱，甚至完全不表现出来。就好比你想看建筑设计图，但图纸的一部分被折了起来，还被涂得一团糟，想要看清楚可不容易！相反，如果基因“低甲基化”，那它就会表现得很强烈，相当于图纸被展开，平放在桌子上，还用明亮的光照着。这回看个痛快吧！

“感知苯乙酮”通过基因表达的调节在小鼠中代代相传，这就是所谓的“表观遗传”。尽管研究者还没弄清表观遗传的修改如何到达精子——通过激素信号？还是神经信号？但这一发现已经为许多研究开辟了道路。

慢性营养不良会对机体造成压力，对人类和小鼠都一样。2016 年，丹麦的一个团队研究了由此造成的表观遗传修改。患有肥胖症的研究对象在进行减肥手术（一种降低营养吸收能力、促进减重的医学手段）前，研究者收集了他的精子，并在手术 1 年后再次收集其精子，此时研究对象平均已减重 30 千克。研究者发现，在 3 万多个基因中，数千个基因都带有新的表观遗传标记。令人惊讶的是，这些新标记都出现在与控制食物摄取和饥饿感相关的基因中。研究团队领导人罗曼·巴雷斯说：“减重者的精子带有表观遗传标记，能影响孩子的饮食行为，优化其代谢功能。”巴雷斯还就一个切身情况提出了问题，他这一代人和经历了战争的他父母那一代人，会给孩子留下什么印记：“我

的儿子，以及几百万欧洲人，是否都继承了两次世界大战的创伤标记？我的儿子是否会有先定的行为？"2015 年发表的另一项研究结果可能给出了问题的答案。

纽约一个专门研究创伤后应激障碍的团队考察了第二次世界大战期间针对犹太人的大屠杀对表观遗传标记造成的影响。他们发现，幸存者及其后代的应激基因 Fkbp5（基因通常都有个拗口的名字）附近都有表观遗传的修改，而其他对照者则没有。然而，由于研究样本过少（仅有 32 名大屠杀幸存者、22 名幸存者后代和 17 名对照者），此研究结果还需谨慎对待。

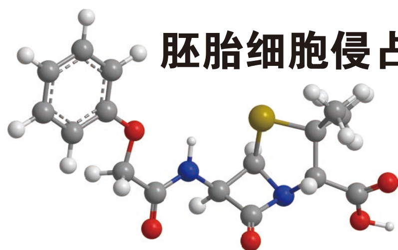
将来，更深入的表观遗传学研究可能会为治疗创伤后应激障碍提供一些办法。2014 年，麻省理工学院的一个团队提出了一种非常有前途的治疗方法。他们用合适的药物消除了应激小鼠的表观遗传标记。经过治疗后，小鼠不再害怕，其后代也不用再承受父辈恐惧的后果……也许在不远的未来，我们都能通过治疗重写表观遗传项。那样，我们就能摆脱自己生命中的创伤或者父辈经历的创伤带来的不良影响了。





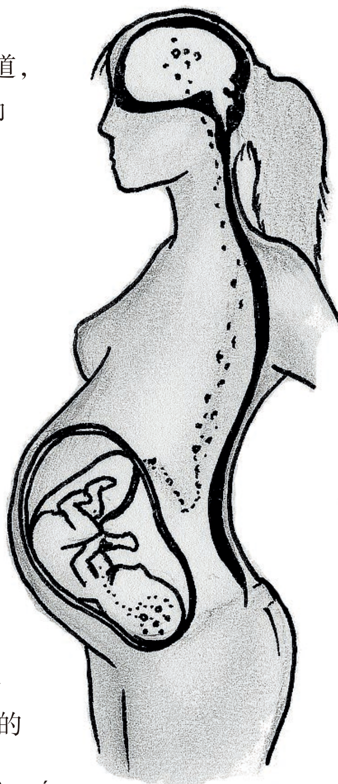
20

胚胎细胞侵占母亲大脑



我当妈妈已经15年了，想一想也知道，怀孕在我身上不可能不留下最深刻的印记。我说的不是身上的伤疤、松弛的皮肤、难看的血管，而是比这更不可思议的事实，我几乎都不敢说出口：在今天，当我写下这些文字时，我孩子的某些细胞可能仍留在我体内，甚至进入了我的大脑，参与我大脑的运作！这真是难以置信，对不对？

确实，我们通常认为从母亲到孩子的传递是单向的：十月怀胎，孕育小生命，哺育他，抚养他长大，给他提供一切所需。但现在我们知道，胎儿也会向母亲输送细胞。这是一个令人困惑但真实存在的现象，这也是我想向大家讲述的美好故事。



© Valentin Baugé

微嵌合体是什么东西?

上述现象称为胎源“微嵌合”。这个词看起来有点陌生。它是什么意思呢?微嵌合指个体中存在不同基因源的活细胞,也就是来自另一个生命体的细胞。人类存在这种现象:外来细胞可通过输血和器官移植进入人体内并融合;或者在妊娠过程中,外来细胞可能通过胎盘进入母体,此时我们加上“胎源”二字表示细胞来源。我们要讨论的正是后一种情况。

1893 年,德国病理学家格奥尔格·许莫发现了这一现象。他在因子痫(怀孕晚期出现的惊厥)而去世的妇女的肺循环中观察到异体细胞,于是提出假说:这些细胞是由胚胎传给母体的。但是,支持这一假说的证据到 20 世纪 70 年代初才出现,人们在一位怀男胎的妇女血液中检测出 XY 染色体细胞。直到 20 世纪 90 年代,其他研究才证明胚胎细胞可以穿过胎盘,离开子宫,并在母体中传播。

我们先来看看“微嵌合体”(Microchimerism)这个词是怎么来的,micro 表示“微”,而 chimerism 来自 chimera,这是古希腊神话中的一种怪物——狮子、山羊和龙的合体(见右图,公元前 350—前 340 年的盘子,现藏于法国卢浮宫),后来比喻组合而生的生物或物体。在动物界,“嵌合体”通过相近物种繁殖而来,比如雄狮和雌虎生出的狮虎兽。如果生命体中只有少量异体细胞,比如母体中出现少量胚胎的细胞,则称这种现象为“微嵌合体”问题。

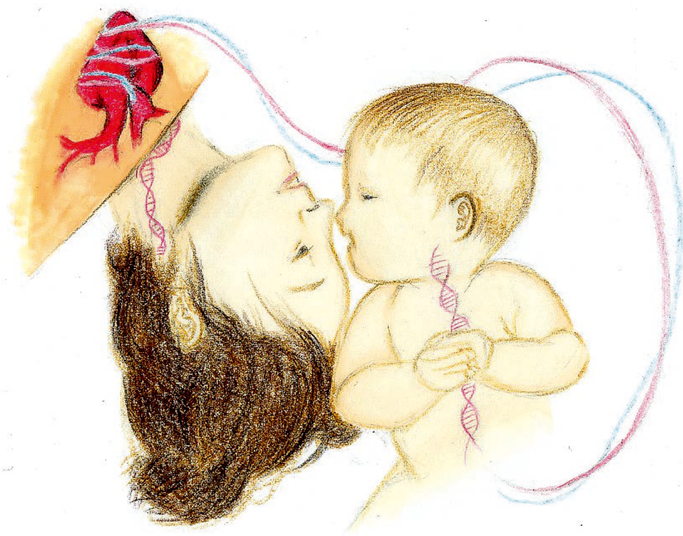


微嵌合出现的频率和嵌合程度

在妊娠期间，母体都会出现微嵌合现象吗？进入母体的胚胎细胞数量因人而异，成功生育时会出现，流产时也会出现。要找到这些胚胎细胞，最简单的方法是当胎儿为男性时，在母体中寻找含有男性染色体 XY 的细胞。

这些“外来”细胞会在怀孕 7 至 24 周时出现在母体的血液循环中，其数量在胎儿出生时达到最大值。然而最不可思议的是，这些细胞一旦进入母体，便可存在数十年，甚至伴随母亲一生。

这一现象并非在所有人身上都会发生，不是所有怀孕的妇女都会让胚胎细胞一直存活下去，但胎源微嵌合发生的频率还是很高的。



© Valentin Baugé

2012 年的一项研究发现，63% 的研究对象有异体细胞，但报告并未特别说明异体细胞确实源于妊娠。之前也有研究表明，30% 至 50% 生下男孩的女性在血液循环中有来自胚胎的细胞。

这就带来了许多问题：这些异体细胞最终变成了什么？到哪里去了？它们在母体中是如何分布的？研究证明，这些细胞长年活跃于血液、骨骼和骨髓中，有一些被免疫系统消灭，另一些则逐渐融进组织里。但它们并不是无处不在，而是流动、集中到肺、脾脏、肝脏、甲状腺、肾脏、心脏甚至大脑中。

我们先看看这一切是怎么发生的，之后再看它们积聚在哪些器官。

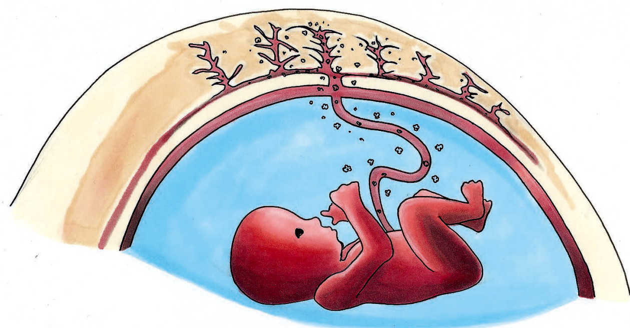
胚胎细胞如何融入母体组织?

随着孕期的进展，母体中的胚胎细胞会越来越多。我们先不问胚胎细胞如何进入母体、如何融入母体组织，先看看这些细胞都属于何种类型。

传给母体的胚胎细胞大部分由胎儿的骨髓产生，包括有核红细胞（成熟前的红细胞）、淋巴细胞（一种参与免疫机能的白细胞）、干细胞（可形成其他功能细胞的不成熟细胞），但也有滋养层（包裹胚泡的一层）细胞。总之，它们性质各异。

这些细胞进入子宫的静脉系统，最终到达母体肺部的毛细血管：毛细血管周围的组织非常欢迎这些异体细胞，此处的异体细胞浓度可达到其他器官的 10 至 100 倍！有研究者认为，肺部毛细血管发达也是导致异体细胞浓度高的原因，因为这是胚胎细胞进入母体血液循环后遇到的第一个毛细血管网络。另外，经过肺部组织的血流量高，这也是原因之一。

胚胎细胞也会进入母体的干细胞库，比如骨髓。



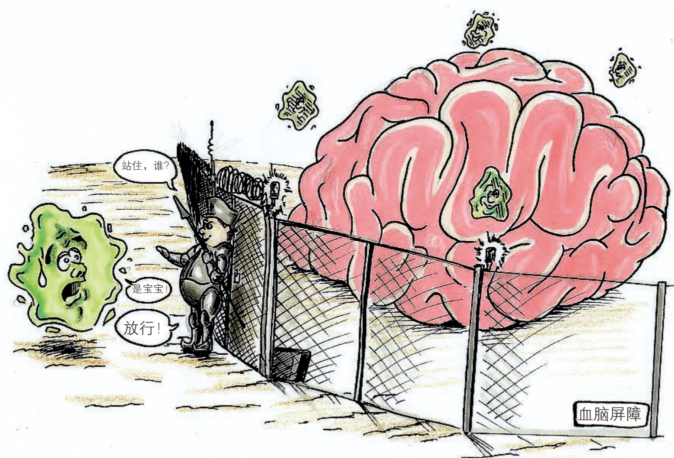
© Valentin Baugé

而这样的“传输”或者说“融入”（异体基因进入）之所以能实现，是因为在怀孕期间，母体的免疫系统被改变了，变得更加宽容、不会排斥胚胎，因此妊娠才能顺利进行。可是，胚胎细胞通过胎盘屏障的机制尚不清楚。

胎儿出生以后，母体的免疫系统会消灭大部分异体细胞，但不是全部。存活下来的细胞会分化，在成熟后融入母体组织，变成特定的细胞或者所在器官的细胞。于是，胚胎细胞就变成了母体的心脏细胞、皮肤细胞、黏膜细胞，甚至是神经元细胞和其他脑细胞……总之，胎儿的细胞完美地融入了母体！

母体大脑和心脏中的胚胎细胞

我们再来仔细考察一下大脑和心脏的情况，这在人类和小鼠身上都已被研究过。研究者们对各年龄段、无神经疾病史的已故妇女大脑各区中的男性 DNA 做了检测和量化，将 Y 染色体中一段特殊序列作为标的，借此发现异体细胞分布在几个很明确的区域。他们还考察了



© Valentin Baugé

血脑屏障在其中的作用。血脑屏障是血液循环和大脑之间的一个过滤器。通常，这个过滤器很有原则，只有必要的养分和要排出的废物才能通过。但研究者表示，在胎源微嵌合体中，异体细胞可以通过血脑屏障。以前的研究也发现，血脑屏障的渗透性会改变……这结果很令人惊讶，因为异体细胞应该会引起排异反应：异于个体的东西（称为“非己”）进入机体通常会激活免疫系统。目前，器官移植技术依然困难重重，正是出于这个原因。

2015 年，一项研究确认，在怀孕期间去世或在生产后马上去世的女性大脑中明显含有胚胎细胞。另外还有证据表明，这些细胞可以在大脑中存活很久，一位 94 岁的妇女脑中还有异体 DNA！这说明异体细胞已经完美地融入大脑。实际上，进入大脑的胚胎细胞大部分具有和神经元一样的形态，表现出神经元细胞特有的基因，但也保留着其他脑细胞的基因。

那么心脏呢？在小鼠身上的实验证明，发生心肌梗塞后，胚胎细

胞会融入心脏并分化为肌肉细胞、组织细胞和其他类型的心脏细胞。总之，它们会联合起来修复创伤。如果胚胎细胞真有修复作用的话，那这不正是其用武之地吗？我们能否认为，胚胎细胞进入母体，融入各个关键器官，能帮助母体活得更久、更健康？母亲给予生命，胎儿给予报偿。这个假说非常诱人，当下好几个研究团队都在试图证明这一点。我们看看这个想法在科学上是否说得通。

长期的作用和效果

胎源微嵌合发生频率高、情况多样，母体在孕期获得的胚胎细胞能长久存活，并能修复母体关键器官……这诸多迹象让人觉得，胎源微嵌合可能有利于母体的健康。虽然已有许多关于胎源微嵌合的研究，但要下结论还很困难，研究者的观点也不尽一致。

许多数据表明，怀孕次数越多，母体对某些恶性肿瘤的发病率越低，所以，微嵌合可能有保护作用。还有更具体的证据，比如，有研究表明，微嵌合有修复表面或深层创伤的作用。研究者追踪异体细胞在宿主体内产生的蛋白质，发现它们经常出现在伤口附近，而且在创伤愈合后，异体细胞数量会减少。同时，修复阶段不同，参与修复的细胞类型也不同，刚开始是白细胞，最后是内皮细胞，即血管内壁的细胞。胚胎细胞因为具有分化能力，所以先天有修复受损组织的功能，也许还能帮助血管愈合。

胚胎细胞也经常出现在乳房里，于是，有研究者认为它们还有催乳的作用，能促进乳房变化，产生更多的母乳。

在控制体温调节和主管新陈代谢的甲状腺中，胚胎细胞也很多。那么，胚胎细胞是否有助于调节体温，好让母亲更好地把热量传递给婴儿？如果考虑到新生儿与母亲“皮肤接触”的重要性，那么这个假

说就能说得通。这种接触对于建立母婴的依恋关系起到很大作用。

那么大脑呢?在这方面,能确定的事情还不多。有人提出,胚胎细胞融入大脑能优化神经元连接和化学通信——别忘了,这些细胞变成了神经元。同样,这也有利于建立母婴的依恋关系!

但也有科学家质疑胚胎细胞的“积极效果”。他们认为,从长期来看,这一定会致病。这种怀疑也有数据支持,比如患有关节炎、类风湿性关节炎、狼疮等自体免疫疾病的妇女血液中的男性 DNA 浓度明显高于正常人,而罹患甲状腺炎的妇女的甲状腺中,胎源细胞数量也更多。实际生产之后,母体免疫系统恢复到最佳状态,所以异体细胞可能会引起强烈的免疫反应。这个“副作用”早在 1996 年就被揭示出来,但科学界尚未就此达成共识。

未来的探索

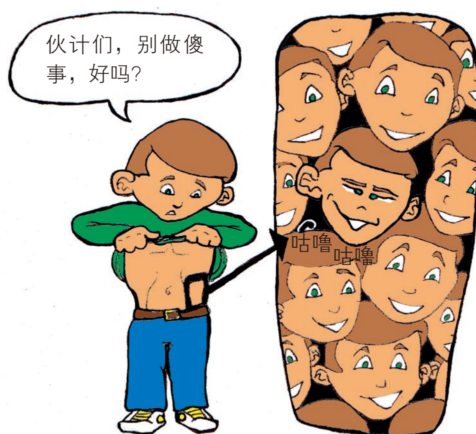
胎源微嵌合尚存许多疑问。研究者在探究益处或坏处之前,首先想弄清其深层机制,尤其是想以此更好地掌握器官移植技术。就大脑而言,微嵌合是否会改变母亲的行为,这和产后抑郁症有无关系?这还是个谜。不管怎么说,胎儿在出生前就给母亲留下了“鲜活”的纪念品,它的细胞完美融入了母体,这是很神奇的事。关键是,这些细胞还有强大的再生潜能。未来的研究应该能告诉我们更多真相。



21

被咬也会得癌症：至少有一种癌症如此

在通常观念中，癌症是一种自发性潜在疾病。某个器官的某些细胞异常增生，形成所谓的肿瘤。但肿瘤不一定就是癌症，也有良性肿瘤和恶性肿瘤之分，只有恶性肿瘤才是所谓的癌症。良性肿瘤一般就在原处缓慢增长，形态与原组织很接近，也不侵犯相邻组织，只会因为空间不够而挤压相邻组织。除少数特例外，大部分良性肿瘤不会发生恶性演变。恶性肿瘤的破坏性却大得多。它们会侵犯附近组织，扩



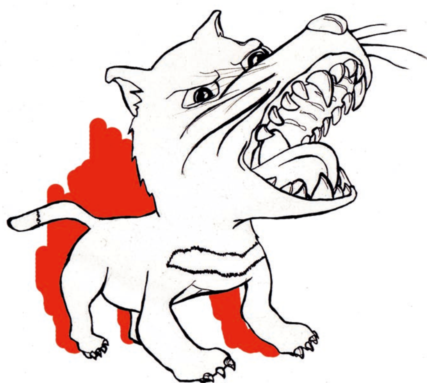
散到机体的其他地方，形成继发性肿瘤，这就是“转移”——如果能瞄准整个机体，为什么要满足于一个器官？癌症如果不及时治疗，通常是致命的，有时也很难治好——人们以为治愈了，不久却又复发。总之，癌症真是可恶！但癌症再可恨，它也是病人自己身体产生的，如同体内的恶魔……然而，有些癌症并非如此，它可以从某个个体传给另一个个体！

癌症也传染

好几种动物身上都发现了可传染的癌症。放心，目前人类身上还没有。

可传染的癌症是什么意思？“传统”癌症是机体细胞在基因、环境、病毒感染等因素的综合影响下脱离了固有的管制，不受控地增长。可传染的癌症则是癌细胞从某一个体传给另一个体，传播途径因癌症类型而不同，可视为“寄生”癌症。

其中最出名的两个例子就是犬传染性性病肿瘤和袋獾面部肿瘤。



露出獠牙的袋獾（还是不要靠太近为妙）



“这是我的！”
“就抢，你能咋样？”
“啊！你竟敢咬我！”
“啊！现在我们扯平了！”
“才没有！”
“啊！现在才是真扯平了！”



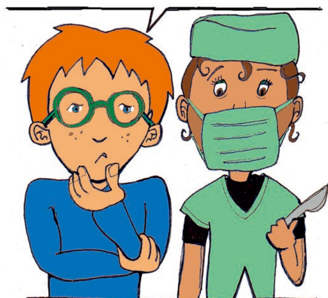
“这是什么鬼东西？”

袋獾是一种小型肉食性有袋动物，仅生活在塔斯马尼亚岛。顾名思义，第一种癌症不用图示（其实是插图师不想画）也能知道发病部位和传播途径。我们主要考察袋獾的情况。

袋獾面部肿瘤发病于面部和口部，经常（65% 的情况）出现转移，并在内脏形成继发性肿瘤。这种肿瘤，或者说癌细胞，依靠近距离接触而传播，具体说就是袋獾互咬。一旦感染，癌细胞在宿主身上扩散，可引发恶性肿瘤。但是，这些小动物为什么要互咬呢？回答很简单：袋獾很凶猛，经常互斗，尤其在进食的时候……食物对袋獾来说是神圣的。

捉迷藏的异体细胞

不幸的是，对袋獾来说，这种癌症传播得非常迅速。1996 年，人





们首次发现病例，如今癌症已波及塔斯马尼亚岛一半以上的袋獾。人们对岛上不同地方的袋獾面部肿瘤做了基因分析，发现其基因组成非常接近，同出一源。也就是说，这些肿瘤都是克隆，最初出现在某个个体身上！在检查过肿瘤基因表达之后，研究者认为，疾病源头是神经胶质细胞，至少是正在形成的神经胶质细胞——在神经系统中，神经胶质细胞确保神经元的正常工作。肿瘤通过袋獾互咬在它们之间转移、扩散开来。这其实是“同种异体”[1] 移植，即供体和受体是同一物种的不同个体。

袋獾面部肿瘤逃避宿主免疫系统的能力十分惊人。按理说，同种异体移植后，如果不对受体做免疫抑制治疗，排异风险会很高。机体能分辨出自己的细胞（自己）和其他细胞（非己），因为每个细胞表面

① 英文是 allogeneic，前缀 allo 在希腊文中表示“其他、别的”。



都有特征蛋白分子组合，后者由名为“主要组织相容性复合体”（简称MHC）的基因群编码。每个个体的MHC分子组合都非常不一样。如果把某个个体的细胞移植给另一个体，因为MHC分子组合不同，免疫系统会将移植细胞识别为“非己”，并用一种免疫细胞——T淋巴细胞消灭它。

如果免疫系统能够排斥经嘴咬传播的肿瘤细胞，被咬的袋獾就不会得癌症。但是，为何没有出现排异？最近的研究显示，“表观遗传”机制抑制了肿瘤细胞中让MHC分子到达细胞表面的基因（见“恐惧也遗传”）。所以，MHC分子无法到达肿瘤细胞表面，被咬袋獾的免疫细胞也就无法“检查”出MHC分子。表观遗传修改是在DNA和（或）相关蛋白质上做的记号，它不改变DNA序列，只是控制（激活或抑制）基因表达。而这里的情况就是抑制。这就可以解释为什么袋獾面部肿瘤没有引起宿主的免疫反应。另外，MHC蛋白表达减少，通常见于恶性肿瘤细胞。MHC分子除了用于分辨自己与非己，对识别“被改自己”也很重要，也就是受感染细胞和“传统”癌细胞。“识别”



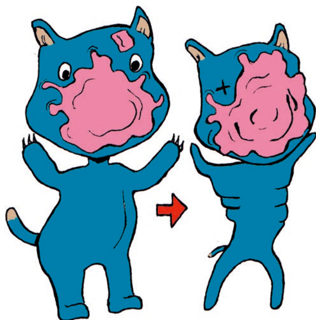
是免疫系统执行消灭任务的重要一步，因此，肿瘤细胞表面缺少 MHC 分子，将导致肿瘤的肆意传播。

尚待弄清的事还很多。免疫系统不会轻易被骗，本来应该能处理无 MHC 分子的细胞。原则上，一种独特的免疫细胞——NK 细胞（natural killer，意为“天生杀手”）会攻击无 MHC 分子的细胞。但是，这会受到一些因素的调控。袋獾面部肿瘤是如何绕过宿主免疫系统的？这远没有搞清楚，依然在研究之中。

袋獾濒危

袋獾真是要多倒霉就有多倒霉。面部肿瘤不仅传遍塔斯马尼亚，而且染病的袋獾几乎必死无疑。它们的死状非常凄惨：因面部肿瘤过度增生，最后被饿死或窒息而死。

袋獾面部肿瘤与犬传染性性病肿瘤的病况形成了鲜明对比。后者虽然也是克隆式异体移植，但肿瘤长到一定阶段就再也逃不过宿主免



疫系统的消灭。而且这种肿瘤很少转移，通常也不致死。克隆式可传染癌症能长久存在，犬传染性性病肿瘤在这一点上就非常“成功”，其起源可追溯至几千年前。当然，病不致死也是其“成功”的一部分原因。袋獾面部肿瘤就不一样了：其病源发展年头尚短，按照现在的情况发展，这种疾病的历史肯定维持不了多久。袋獾面部肿瘤传播快、致死率高，宿主数量已受到威胁，没有宿主也就没有这种疾病。在塔斯马尼亚的某些地区，已有超过 90% 的袋獾死亡。据估计，在 20 年中，袋獾数量可能下降了近 80%。

人们正在采用各种策略，保护健康袋獾不被感染。总之要“加强”袋獾的免疫系统。可以想见，第一个办法是给袋獾打疫苗，“教会”它们的免疫系统识别肿瘤细胞。表面有 MHC 分子的肿瘤细胞可作为疫苗，它们应该会引起宿主的免疫反应，机体就能准备好与疾病斗争。导致 MHC 分子不表达的表观遗传机制也可以逆转：通过治疗肿瘤细胞，让它们表现出 MHC 分子。

人们也考虑了其他措施，比如寻找天生有抵抗力的个体，研究其特性和（或）促进其繁殖——希望抵抗力可遗传给后代。也许，这并不需要人类干预，进化就可以做到。最近一项研究表明，与免疫反应相关的某些“等位基因”可能会提供抵抗力，拥有这些基因的袋獾能

够生存并繁殖，把这些等位基因传下去，代替其他版本的基因。从整体上看，这是袋獾的免疫系统进化了，能对付这种传染病！与时间的赛跑已开始，袋獾能否靠自己免于灭绝呢？







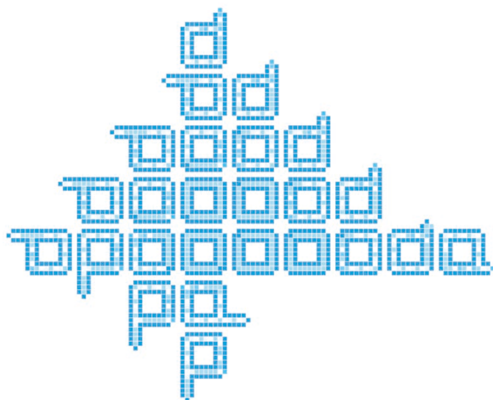
22

几行代码重塑生命

生命是什么？这个问题看似简单，却牵涉许多最根本的东西。长期以来，生物学家一直想弄清这些东西的本质。是什么特性让大肠杆菌成为一种生物？病毒是生物吗？外层空间生物学家对此尤其感兴趣，他们想知道最初的有机分子如何组成了第一批“生物”，希望有一天在其他星球上找到生命。近年来，这些问题还启发了一类实验——创造“人工生命”。这又是什么意思？

如果你已过而立之年，就应该玩过《生命游戏》。20 世纪 90 年代的个人计算机里经常自带这种游戏。如果你没听说过，可以在网上搜一下，够你玩几小时啦！玩家在格子里选好细胞设置后，就可以看着它慢慢进化。这种模拟看起来“活灵活现”，不是没有道理的。游戏中的细胞有一些特性：移动、自我复制、死去，最后消失，最重要的是不需要外界干预！细胞的行为遵循一系列简单法则。法则由游戏设计者、数学家约翰·康威定义，可用算法形式表示，所以能在计算机上运行。细胞在 $t+1$ 时刻的状态仅取决于环境和 t 时刻的状态，这就是细胞自动机的基本原理。

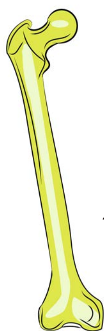
计算机科学创始人之一约翰·冯·诺依曼在 20 世纪 50 年代创造



有 8 种状态、能自我复制的细胞自动机：兰顿环（Langton’s loops）

了细胞自动机，目的是制造一个能自动复制自己的机器。与自我复制机、细胞自动机和其他模仿生物特征的人工系统相关的研究都属于“人工生命”，这一学科的研究对象是生命基本特征的鉴别与复制。

计算机模拟提供了一个宝贵的研究工具，了解模拟中的所有因素，也就可以找出形成某种特征的基本机制和过程。研究者面前出现了一个广阔的领域，他们可以探索更多的问题：“要得到一个能无限自我复制的个体，最低的必要条件是什么？”一个生命能生长和死去，需要加入什么规则？”人工生命关心的不仅是“生命是什么”，还有“生命可以是什么”。



23

从出生到死去，我们的身高一直在变!

法国公民的身份证上会注明身高，但这个信息很可能是错的。其实，身份证上唯一不会变的就是出生日期和出生地，连名字和性别都可以申请修改——当然，这种情况毕竟不多。但是，身高其实变化最大，也最不可信。在生命中的每一天，你的身高都在变，成长时如此，成年后亦然，一直到老到死。我们不妨仔细考察一下人类身高的变化。

影响身高的因素

先看看影响生长的因素。什么决定了你现在的身高呢？首先是基因，这在你还是受精卵时就定好了。身高 60% 至 80% 都是遗传决定的，另外 20% 至 40% 取决于环境因素。

环境因素中最重要的是饮食，俗话说“半大小子，吃死老子”，这不无道理。身体要生长，首先需要蛋白质、钙、维生素 A 和 D。除了饮食外，医疗水平、睡眠质量……更宽泛地说，生活水平是很重要的因素，对能否达到基因预定身高即“成长潜质”有着很大影响。

环境对身高的影响如此显著，以至于身高被用来衡量国家的发展

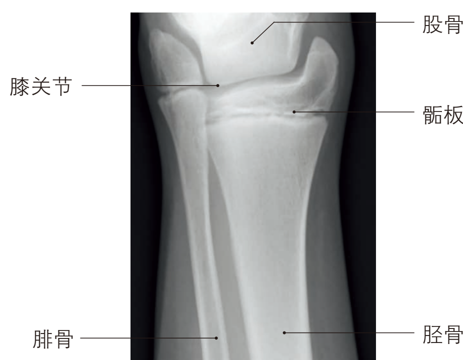
水平，如果一个国家的人口平均身高出现下降，说明国民的健康和生活方面出了问题，比如普遍性营养不良。

我们如何长大?

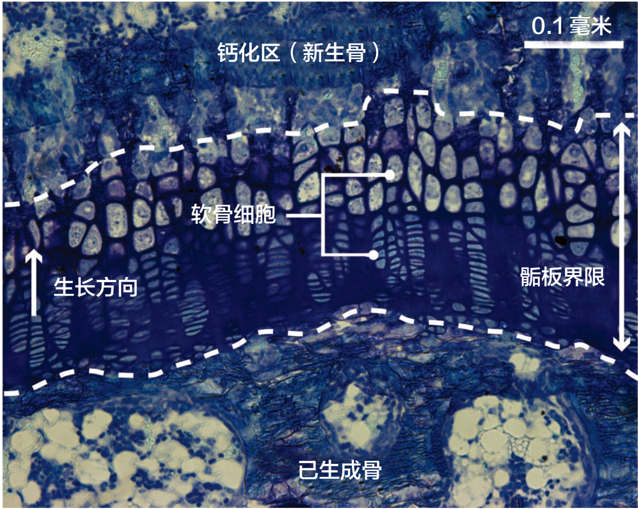
想一想从婴儿到成人的漫漫长路，你一定觉得不可思议吧？骨头是怎么伸长的？哪里的骨头会伸长？

植物生长从顶芽开始，人类是不是也有一个专门的生长区域呢？给正在长高的青少年拍张 X 光片，比如在膝关节，我们就能得到一点答案。可以看到，膝关节下面的骨头上有一条黑线，好像裂纹一样。这其实是骺板，一种软骨组织，负责延长骨骼。骺板细胞浸润在营养基质中，慢慢长大，移向骺板两端，最终变成骨骼。生长结束后，骺板就不再活跃，会钙化，在 X 光片中呈白色。

身体中所有长骨的两端都有骺板，椎骨两端也有，骨头就是通过它们生长的！



膝关节 X 光片，显示了股骨与胫骨的接合，以及胫骨和腓骨的骺板



显微镜下的大鼠椎骨骺板照片。蓝色来自染色剂甲苯胺蓝，用以显示骺板的软骨细胞
© Anne-Laure Ménard

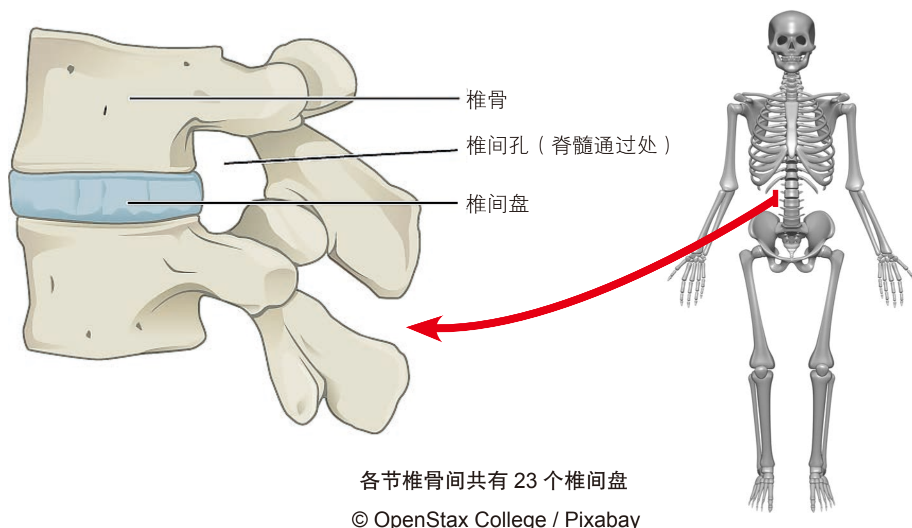
骨骼的生长速度通常以每年几厘米或每天几微米计算。年龄不同，骨头不同，生长速度也非常不一样。脊柱的胸廓部分在人 0 至 5 岁时每年长 1.3 厘米，5 至 10 岁时每年长 0.7 厘米，青春期每年长 1.1 厘米。

骨骼的生长决定于激素、基因和负重。重力让骨头受到压迫，颈椎要支撑头部的重量。骨头受压越大，生长越慢，有时甚至会停止。相反，减少压迫能刺激生长。科学家甚至从经验中总结出一个公式，给出了骨骼生长速度与所受压迫之间的关系。

儿童脊柱侧凸是压迫造成骨骼生长异常的最好例子。脊柱侧凸是一种脊柱畸形，简单来说就是从背面看去，脊柱不直，呈 S 形三维扭曲。这是因为椎骨一边（S 形内部）受压远大于另一边。椎骨左右两边受压不同，生长速度不一样——受压大的一侧长得慢。椎骨生长不均，又加重了已有的畸形，形成恶性循环。幸好，脊柱侧凸的症状大多很轻微，有时能不治而愈，但痊愈的机制尚不清楚。

知道了压迫对骨骼生长的影响，我们可以假想一下，如果我们在其他星球上长大，自己会长到多高？所在地的重力决定了骨头承受的压力。所以，我们如果在火星上长大，很可能会更高一点，因为那里的重力比地球上小，而如果在海王星上长大，我们就会矮一点，因为那里的重力比地球上大。还是让我们的后代去实地检验一下这个假设吧！

关于生长，我们最后还要说一说运动的影响。篮球运动员高，体操运动员矮……运动会影响生长，不是吗？错！这种传言一直存在，是因为大家觉得压迫影响生长。乍看之下，体操运动员确实会受到很多撞击和压迫，而篮球运动员则能尽力伸展身体，以便够到篮筐。运动项目和身高之间确有关系，但不是运动决定了身高。篮球运动员普遍较高，不是因为篮球这项运动让他们长高，而是因为较矮的人在这项运动里没有优势，提早退出了……这就像对篮球运动员的一种自然选择，但并不会改变他们的生理状况，体操也是同理。



各节椎骨间共有 23 个椎间盘

© OpenStax College / Pixabay

压迫一会儿影响生长，一会儿又不影响，这要怎么解释呢？其实关键在于受压时间，重力或畸形等持续压迫才会影响生长，运动撞击等瞬时压迫不仅不会影响，还会重塑骨头的内部结构，这种现象叫“骨重建”。所谓撞击，可以是打击，也可以是跑步时每一步带来的冲击。如果撞击一直重复，骨头就会做出反应，受击处会硬化，防止出现骨裂。冲撞性运动，如足球、手球、体操、武术等可以提高骨密度、增强骨质，而且不论年龄！

生长结束后，身高怎么变？

正如文章开头所说，生长结束后，身高依然会变。既然骨头不能伸长，那么身高的改变就只能从软组织的变化解释。人体从头到脚都是硬骨头，除了一个地方——椎间盘，顾名思义，它在各节椎骨之间的主要作用是缓冲。如果能摸到的话，椎间盘摸起来像棉花糖。这是成年人身高变化的主要因素。

这种变化在失重状态下尤其明显。宇航员在太空时身高能增加 3%（身高 1.7 米的人能长高 5 厘米），重力不再挤压身体，肌肉也放松了，椎间盘就吸水长大！它像海绵一样，受压会排水变平，不受压就吸水胀大。在失重状态下，椎间盘吸足水，脊柱就变长了。另外，因为没有重力压迫，脊椎的天然弯曲也不会那么明显。

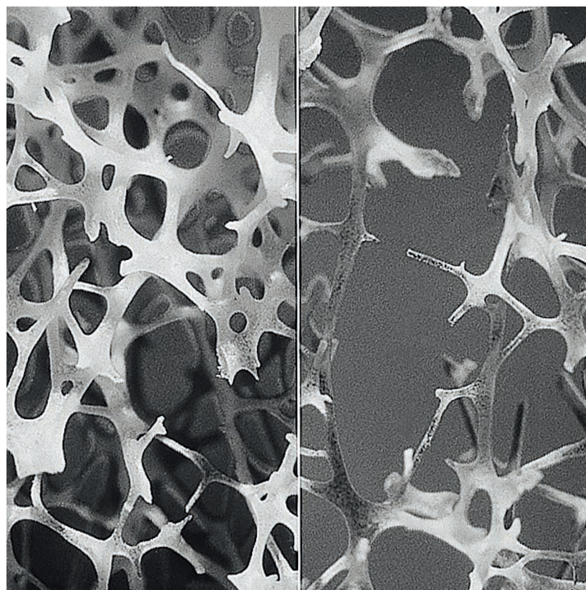
这两种现象解释了宇航员为何会变高。据美国国家航空航天局的测量结果，宇航员最多能长高 7.6 厘米！遗憾的是，宇航员一旦回到地球上，身高就会缩水，用不了十几天，他们又会回到原来的身高。

假如不上太空呢？就算在地球上，人在一天中的身高也在变化，早上起床时比晚上平均高 1 至 2 厘米。夜间身体平躺，椎间盘受压减小，膨胀起来。起床后，椎间盘再次承受身体的重量，渐渐失去一部

分液体。最大的改变可能出现在起床后的 40 分钟内，之后的身高基本稳定。这是我自己测试得出的。

日常小变化先不谈，成人的身高会基本保持不变吗？也不会。人老了会驼背、变矮，身高能减少 4%。首要原因还是在椎间盘。随着时间的推移，它们的吸水能力减小，开始变干，也就变短。不仅椎间盘这种软组织会变短，骨头也会，原因就是骨质疏松。这对女性的影响比对男性更大。

骨质疏松究竟是怎么回事？健康的椎骨由两种密度不同的骨质组成：一种致密，称为密质骨，位于椎骨外围；另一种疏松，称为松质骨，在椎骨内部。在显微镜下看，松质骨的结构由针状和片状的骨质交织而成，有空隙，就像承重墙一样支撑着椎骨的上下两面。如



显微镜下健康松质骨的结构（左）和骨质疏松时的结构（右）

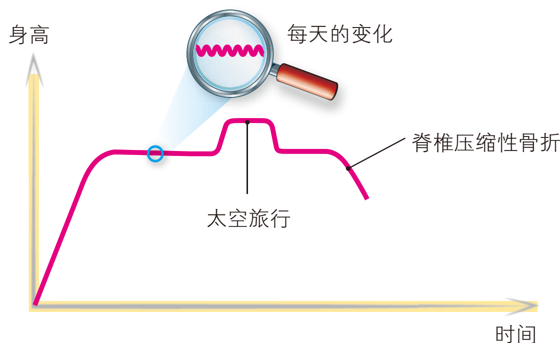
© Gtirouflet

果骨质疏松，骨密度减小，这些针状和片状的骨质也会减少，变得稀疏——“承重墙”撑不住多时，椎骨就会塌陷，造成脊椎压缩性骨折。这不仅会让人变矮，还会增加背部的弯曲。弓腰驼背的老年人很可能有好几节椎骨都塌了……

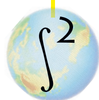
总之，如果用一张假想的图来总结，大概会呈现下图的样子（未按实际比例）。

在人的一生中甚至一天中，身高都会有很大的变化。椎间盘是日常变化的首要因素，一天中时变、时不变。这是一种自然过程，在我们的控制之外，没有人能避免。

我们唯一能做的事就是减少或推迟老年时脊椎压缩性骨折。要做到这一点，运动很重要！适合自己能力的体育活动能强健肌肉，让背挺直，还能通过重复的小撞击帮助我们强化骨骼。你改变不了自己的身高，但也许能把它保持久一点。[①]



① 本文任何内容不可作为医疗建议。任何身体或健康问题，请一定先咨询医生再做决定。



24

封路治拥堵①

1990 年 4 月 22 日，纽约。这一天是“地球日”。这项全球范围的纪念活动旨在鼓舞大家保护生态系统。纽约市交通主管卢修斯 · 里乔也想共襄盛举，于是，他下令封了曼哈顿中心车水马龙的第 42 街，禁止机动车通行。这可称了步行者和骑车者的心意。但事后他也承认：“用不着天才科学家的计算，或者精妙的路况算法的预测，我也知道这会造成严重的问题。”问题当然是污染非常严重的超级大塞车。所以这只是宣传造势而已？非也。里乔第一个惊奇地发现，封了第 42 街没有造成额外的拥堵，路况甚至还更通畅了！

如果他事前征询过对此深有研究、掌握算法的数学家，就不至于这么惊讶了。实际上，人们在几十年前就知道可能会出现这种现象，这就是“布雷斯悖论”的表现。该悖论由德国数学家迪特里希 · 布雷斯于 20 世纪 60 年代末首先提出。但它具体讲的是什么呢？

1968 年，德国斯图加特采取了许多重要措施以疏解交通，于是，一系列令人称奇的事情发生了。首先，堵车现象越来越频繁，情况糟

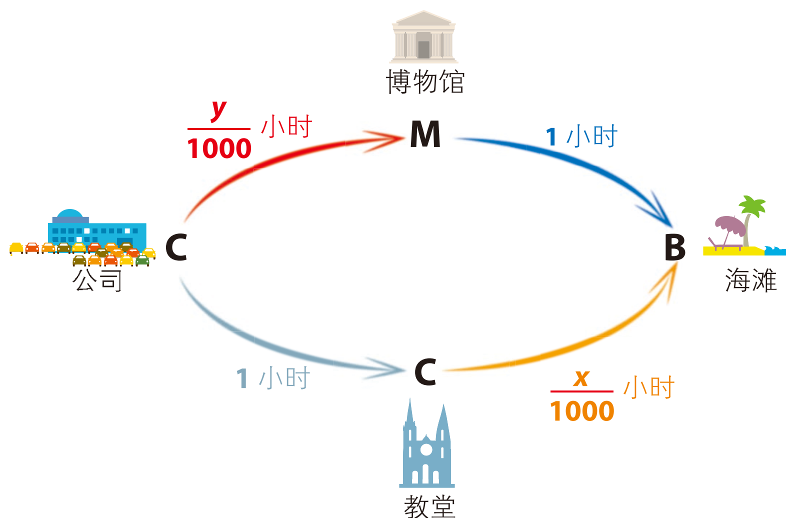
① 本章灵感来自艾蒂安 · 吉斯发表在法国国家科学研究院博客“数学图像”（images des mathématiques）上的一篇文章。此博客介绍数学方面的研究，大部分作者都是热衷于科普的数学家，想把自己的知识分享给普通大众。

糕到绝望的市政府只能关闭一部分刚刚开通的道路。谁知，这种做法却意外解决了拥堵问题！这引起了迪特里希·布雷斯的极大兴趣，他大概也曾堵在路上动弹不得吧？布雷斯希望弄清这一现象，它不仅出现在堵车中，也出现在所有信息网络中，甚至在团体内的思想流动中。

布雷斯悖论到底是什么？

在交通堵塞问题里，布雷斯悖论产生于一种自然而然的行为：众人在选择路线时如果不考虑别人，肯定都默认选择最快的路线。大家都这么做啊！但如果“大家”的人数多到一定程度，拥堵就产生了。在某些情况下，这会让原本最快的路线堵到“天荒地老”。换句话说，对个体最优的行为组合起来，对整体来说并非最优。

让我们以极度简化的路网来说明。假设在一个阳光明媚的星期五下午，你从靠海的公司总部出来，想去海滩享受夏日时光。不巧的是，公司里的 1000 个同事也同时完成了工作，向着大海出发了。



从公司停车场到海滩有两条路，一条经过教堂，另一条经过博物馆。你得二选一。

从公司到教堂需要 1 个小时，双向多车道足够宽，不管路上有多少车，永远也不会饱和。过了教堂之后，沿途风光宜人。此后还要经过一座古罗马时代的小桥，这是一处著名的古迹。但小桥太窄，车辆只能一辆一辆地通过，所以车辆越多速度越慢。假设从教堂到海滩所需的时间与排队过桥的车数 x 成正比，为 $x/1000$ 小时[①]。因此，如果有 1000 辆车排队过桥，则每辆车从教堂到海滩需要 1 小时；如果只有 500 辆车，则只需半小时。

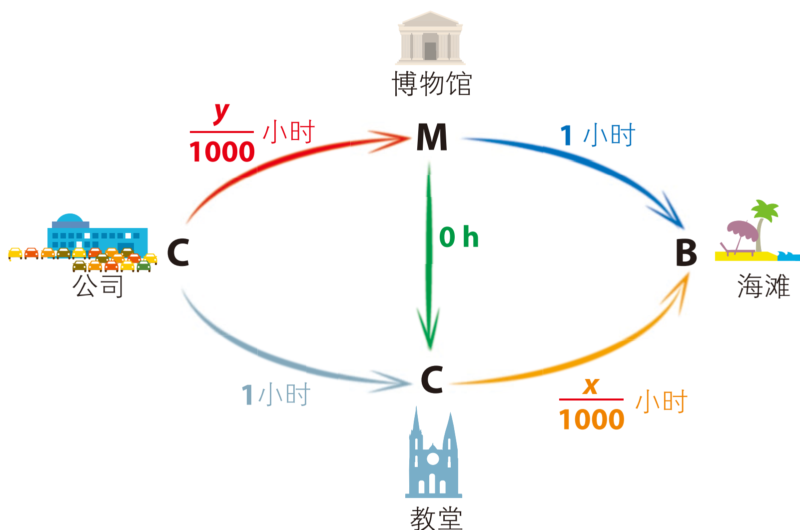
在另一条路线中，从停车场到博物馆的路比较窄，如果有 y 辆车，则需 $y/1000$ 小时才能通过这段路。之后，从博物馆到海滩的路足够宽，不管有多少辆车都只需 1 小时。

所以，两条线路的总时间分别是 $1 + x/1000$ 小时和 $1 + y/1000$ 小时。

假设你的同事们都独立、随机地选择路线，一半人选了"公司–教堂–海滩"的路线，于是 $x = y = 500$，则两条路线时间相同，1.5 小时均可抵达海滩。在办公室里，你和坐在旁边的阿贝尔的人际关系比较紧张。还好，他和其他 499 个同事选择走博物馆那条路，也是 1.5 小时达到海滩。所以 1.5 小时是最优时间，大家皆大欢喜，虽说你恨不得阿贝尔在路上遭遇爆胎。

现在引入一个变化。市政府觉得博物馆和大教堂之间没有道路相连，这实在太不应该了。毕竟两者几乎紧挨着，只是中间隔了一座小山而已。所以在冬天，市政府下令修建了一条超级现代的隧道，把博

① 实际中还需要考虑 x 很大时车辆通行缓慢造成的拥堵，x 很小时也需要定义一个最短通行时间，但这里只是为了说明悖论，所以做了些简化。



物馆和教堂“无缝”连接起来，可以“瞬时到达”——为简单起见，我们暂且这样认为。不过有一个小小的不便之处：为避免隧道挖得太宽，这条新修的隧道是单行线，只能从博物馆通往教堂。

转眼又到了夏天，又是一个阳光明媚的星期五下午，你和 999 个同事再次禁不住沙滩的诱惑，要去海边。这次有一条新线路了：“公司 – 博物馆 – 教堂 – 沙滩”，这条路仅需 $x/1000 + y/1000$ 小时即可达到。

所以，现在你有 3 条线路可选，分别需要 $1 + x/1000$ 小时、$1 + y/1000$ 小时和 $x/1000 + y/1000$ 小时。x 和 y 相等或不等，但肯定都小于 1000。大家自然要选“公司 – 博物馆 – 教堂 – 沙滩”这条线路，走新修的隧道，因为这条路比前两条线路都快，最不济也和前两条耗时一样。

此时，你和阿贝尔的关系越来越紧张。他和你选的路线一样，其他同事也是，即 $x = y = 1000$。这样一来，你们都需要 $2 \times 1000/1000$ 小时，即 2 小时才能到海滩。你不仅会被困在车里 2 小时，错过那 10

分钟的日落，还要被迫看着旁边车里的阿贝尔，真是气不打一处来！想想以前没有隧道的好日子，你反而能更早到达海滩，望着那夕阳的余晖散在海面上……

但如果你选择其他路线，比如“公司－教堂－沙滩”或“公司－博物馆－沙滩”，那么当别人在隧道里呼啸而过时，你还要花 2 小时才能到目的地。想想阿贝尔会比你少花费 1/1000 小时，你这又是何苦呢？结果，因为你和所有同事的自私，大家都要花 2 小时在路上。这是布雷斯悖论一个很好的例子——加了一条超级快的道路，反而会增加平均通行时间。

实际中呢?

当然，这个例子有点简单化了。布雷斯悖论在现实世界中经常出现吗？假设卢修斯 · 里乔请我们研究纽约的路况，那就让我们也来当一回数学家吧。

首先要确定路网，这比上述例子复杂多了。道路越多，路口越多，可以选择的路线也大幅增多。我们要列出从一点到达另一点的所有可能的路线，还要归纳出交通特点：在不同时间段，车从哪里来，到哪里去。对于每一条路线，我们都要确定或估计出不同交通状况下的通行时间。

假设我们已经做出一张能忠实反映纽约交通的路网图。这可不是一件简单的事，真是可喜可贺！那么下一步呢？会不会出现布雷斯悖论？再重复一遍，布雷斯悖论就是当每个个体都获得最优时，总体却得不到最优。这个定义确实有点模糊。能获得的最优是什么？想要获得最优，又需要调整什么变量？

在我们的例子中，首先要计算每个人的通行时间，以及路网中所

有人的通行时间之和。这时，可调整的变量就是所选择的路线。

如果选择的路线能让所有人通行时间之和最小，这就是一个最优情况，称为“社会最优”。当然，这种情况是存在的，其对应的通行时间之和称为“社会时间”。这也是平均通行时间最小的情况。但有些人可能要做点牺牲，不默认选择自己的最短路线，而让别人顺畅通行。

那“自我最佳”呢？这就是每个人都选择对自己最合适的路线。一个人在选择一条路线后，在其他人路线不变的情况下，如果他改换任何其他路线都会导致自己的时间增加，则此路线就是他的“自我最佳”路线。此时，假设外界条件固定不变，仅一个人能自由选择，且选择对自己最好的路线。“自我时间”就是大家都选择“自我最佳”路线的通行时间之和。

“社会时间”必然小于等于“自我时间”。“自我最佳”的平均通行时间也可能是最小值，此时，“自我时间”就等于“社会时间”。但不难想象，“自我最佳”选择通常会导致总体情况变差。在去海滩的例子中，“社会时间”是 1.5 小时，此时 1000 辆车中没有一个走隧道，而“自我时间”是 2 小时……

你想显得自己更博学？那就再看一下拉夫加登和陶尔多什做的研究吧！他们证明了无论在什么路网中，“自我时间”与“社会时间”之比最大不超过 4/3。唉，自私一下最多也就让大家损失 1/3 的时间嘛！这一比例被命名为“无政府的代价”。虽然我们可能因政治观点不同而对此抱有异议，但说到底，这也只是个数学定义。

瓦利安特和拉夫加登还测试了布雷斯悖论在随机路网中出现的概率。他们指出，路网越大，悖论越容易出现。几乎可以肯定，封了纽约的其他路也会出现布雷斯悖论。但如果卢修斯·里乔问：“封哪条路可以降低‘无政府的代价’？”我们该怎么回答呢？

我们可以让他去找尹慧珍、郑河雄和迈克尔·加斯特纳问一问。

2008 年，这三位物理学家发表了一项研究，十分贴近实际地描绘了波士顿、伦敦和纽约的交通状况。他们以谷歌地图的数据建立路网模型，确定通行量，并在纽约找出了最好改成步行街的 12 条道路，或称“连接线”。但是，他们假设车流量不变，而且在华盛顿市场公园和皇后区中城隧道之间的通行量始终为 18 000 辆每小时。这样的假设显然非常有局限性。

这下你该明白了，我们远不能从理论上证明改变路网会让交通更有效率，更何况司机们总有不可预测的行为。然而，有了愈加完善的算法和合适的交通措施，我们已经可以通过调整红绿灯等方法来实时调节交通。

但是，明确轻重缓急也很重要。要不要封路、安不安装红绿灯、是否实施单双号限行、定点定时限速或是增加收费站？还是倡导公交、骑车和共享交通出行呢？解决一个问题通常会有许多种方法。到底选哪一个方法，选择既可能来自信息化模拟，也可能出于社会、政治和经济的考虑。算法是帮助决策的有力工具，可以核实我们的想法，当结果与直觉不符时，我们也可以对此展开辩论。然而，最后做决定的还是我们自己。

25

π 是错的！

谁是最著名的数学常数？毫无疑问是 π。我们小学就学过，老师说它约等于 3.14，而且是最重要的数学常数之一。但是，数学家鲍勃·帕莱、物理学家迈克尔·哈特尔、科普专家维·哈特却说：“π 是错的！”

什么意思？π 不能约等于 3.14？不是。他们想说的是，如果重写数学，他们根本就不会提到 π，要提也只是把它当成注脚，说明其历史上的作用即可。

众所周知的 π

在推翻数学史之前，我们先简单看看历史说了什么。π 又叫圆周率，是圆周长与直径之比，换句话说，如果圆的直径为 1，则周长为 π（任意单位）。

然而，π 能让数学家和大众频频称道，却并不是因为它的定义，而是因为它的性质。这里只提一下 π 的三个奇妙性质：

- 奇数倒数正负交错相加，1 – 1/3 + 1/5 – 1/7 + …，等于π/4；
- 自然数平方的倒数相加，1 + 1/4 + 1/9 + 1/16 + …，等于$\pi^2/6$；
- 任取两个正整数，互质的概率为1/π。

不可思议吧？ π 出现在和圆周长毫无关系的地方。惊讶于此的不止你一个，这个数学常数无处不在，十分神秘，引起了许多数学家的好奇。

但是，让 π 名声大噪的应该还是它令人捉摸不透的本性。18 世纪，瑞士数学家约翰 · 朗伯证明了 π 是无理数，和 2 的平方根一样，不能写为分数形式，换句话说，不能用整数 a 和 b 写出 $\pi = a/b$。更"糟"的是，1882 年，费迪南德 · 冯 · 林德曼指出 π 是超越数。笼统地说，这表示 π 不是任何一个整系数多项式方程的解，和黄金分割率 ϕ 不同，因为黄金分割率是方程 $x^2 = x + 1$ 的解。

π 的神秘之处不止于此。其性质如此复杂，有些关于其数位的简单问题至今也没有答案。比如，取一个整数，如 265，π 的数位中是否有这个数？对 265 来说，答案是肯定的，因为 π 的前几位就是3.141592653... 但是，任取一个整数都一定会在其中出现吗？或者说，π 是一个"包罗万象"的数吗？人们还不知道答案。但我敢肯定，能解决这个问题的人一定会名垂青史……

不管怎么说，在我们这个时代，π 已成为数学和极客文化的标志，说起来总是很有"派"。人们把每年的 3 月 14 日被定为"π 日"，好像纪念远古神祇一样。

反"派"公式

但在鲍勃 · 帕莱、迈克尔 · 哈特尔和维 · 哈特看来，π 是错的，或者说，π 这个常数选得不好。

为什么呢？在他们看来，“真正”的圆周率不应该是周长与直径之比，而应该是周长与半径之比，他们称为 τ（念 tao）。实际上，如果用 τ 代替 2π，许多公式都能简化。学习数学或物理的学生们都有这样的经验，π 前面经常有 2，如果把 2π 写成 τ，那应该能节省一点墨水。

当然，数学家完全不在意用多少墨水，但非常在意另一件事——优雅。优雅部分来自公式的简洁。如果用 τ 代替 π 的话，许多公式都会变得更优雅。比如右图中这些公式，它们都是数学和物理学研究中一定会用到的，学生课本里都有，我们只是把 τ 换成了 2π。

$$n! \sim \sqrt{\tau n} n^n e^{-n}$$

$$\hbar = h/\tau, \quad T = \tau/\omega$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}x^2} . dx = \tau$$

$$c_n = \frac{1}{\tau}\int_0^{\tau} f(x)e^{inx} . dx$$

$$z^n = 1 \Leftrightarrow z = e^{i\tau k/n}$$

就算不懂这些公式的含义，你也能看出其中的优雅之处吧？下面，我们将详细讲述其中两个公式，看看 τ 的惊人作用。

斯特林公式

第一个公式称为斯特林公式，给出了 n！（n 的阶乘）最容易操作的近似值。左边的 n！表示 $1 \times 2 \times 3 \times \cdots \times n$，也就是说，从 1 到 n 的所有整数相乘。于是，$2! = 1 \times 2 = 2$，$3! = 1 \times 2 \times 3 = 6$，$4! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 = 24$，$5! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120$……以此类推。阶乘在正弦函数、余弦函数、指数函数的研究中用得很多，在排列组合中也必不可少。比如，52 张牌就有 52！种排列，从 49 个数里选 6 个数的乐透有 $(49!)/(6! \times (49-6)!)$ 种组合。这里就不进一步解释了，大家明白阶乘很有用就行。

但是，大数的阶乘很难算。一套塔罗牌有 78！种排列，老式计算器可能算不出，因为结果大于 10^{100}，这个巨大的数字称为古戈尔，超过了可见宇宙中所有粒子的总和。劝你不要在计算器或计算机上尝试计算 1000！。

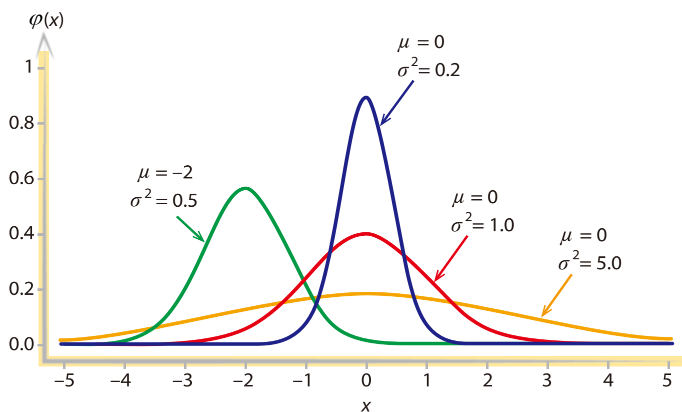
当用 1000！这样的大数进行运算时，通常可用近似值代替。斯特林公式右边就是“可用”的近似，n 很大时误差可忽略不计。具体而言，我们借助这个公式可以很快估计出 1000！约有 2568 位数。计算中还出现了欧拉数 e，这个常数约等于 2.718。当然，也有 τ……

正态分布

第三个公式与最美的数学定理之一“中心极限定理”紧密相关。根据这一定理，大量随机独立事件符合著名的概率法则——正态分布，概率密度形成钟形曲线，也叫高斯曲线。

中心极限定理在众多领域都有运用。假设你到公司的时间受到许多相互叠加的小因素影响，比如，闹钟响了多少次却起不来床、早饭前要上厕所、喂猫却找不到猫、公车晚点等，如果因素数量多、随机、独立，而且每一个因素的影响都很微小，中心极限定理就会说，你到公司的时间符合可预见的统计。你最经常到公司的时间是 9 点，这也是平均达到时间。到达公司的不同时间的概率会形成一条对称的钟型曲线：以 9 点为轴，到达时间跨度越大，曲线拉得越开。更妙的是，假设标准差，即实际到达时间与平均值的差距是 10 分钟，那么在 68% 的情况下，你会在 8 点 50 分到 9 点 10 分之间到达，而迟到 20 分钟的概率约为 1/50。所有的偶然加起来，结果却十分容易预测，仿佛偶然在不断积累后，最后竟消失了！

计算通常采用下图中的红色曲线，它描述了一个平均值为 0 而标



不同平均值 μ 和标准差 σ 的高斯曲线

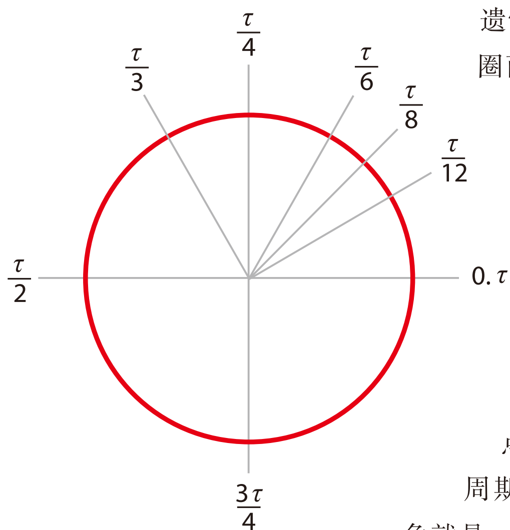
准差为 1 的分布。所有钟形曲线都可由此得出，只要把中心平移到平均值，再相应伸缩即可。如果不管系数，这条红色曲线对应的函数与 e^((−x^2)/2) 有关。在负无穷（−∞）到正无穷（+∞）之间对此式积分（也就是之前的第三个公式），我们又得到了 τ。真是幸福的偶然，最爱的常数又出现了。

以正确的“角度”看问题

不过帕莱、哈特尔和哈特要用 τ 替代 π，并不只是为了写起来优雅，他们更关心角度的测量问题。

刚开始，我们学到用“度”（°）作角度单位，圆周一圈是 360°。几年后，我们可能学到了弧度，圆周一圈变成了 2π，1/4 圈是 π/2。

把弧度作为单位似乎有些任性，但用弧度有非常好的理由。细节太过技术，笼统地说，如果以弧度作单位，当 x 很小时，sin$x$ 约等于 x。所以，数学家和物理学家特别喜欢使用弧度。



遗憾的是，π 对应的是圆周的半圈而不是一圈，这让大家在学习弧度和三角函数时都感到有点别扭。如果用 τ 而不是 π，τ 对应一圈（也就是 360°），1/4 圈是 τ/4。这就直观多了，不是吗？

同样，正弦、余弦等三角函数，以及确定单位圆上点坐标的复指数函数都以 τ 为周期。这很正常，一个 τ 弧度的角就是一圈，τ 的正弦、余弦、复指数和 0 一样——如果你还记得公式的话，$\sin\tau = \sin 0 = 0$，$\cos\tau = \cos 0 = 1$，$e^{i\tau} = e^0 = 1$。

请下注！

你可能也看出来了，我本人支持使用 τ。我甚至在几年前还和朋友打了个赌，赌法国高等院校的分析学课程在 2034 年之前会不会采用 τ。赢的人将得到一家餐馆。所以，我写下这篇文章不仅表达了我在数学领域的倾向，还隐藏着一点利益冲突！请大家从字里行间中体会我的一番苦心，加入支持 τ 的行列吧！

更重要的是，请大家问问自己，τ 是否适用？未来的课本会与时俱进，最终改用 τ，还是习惯成自然地沿用广为人知的 π？请大家下注吧！



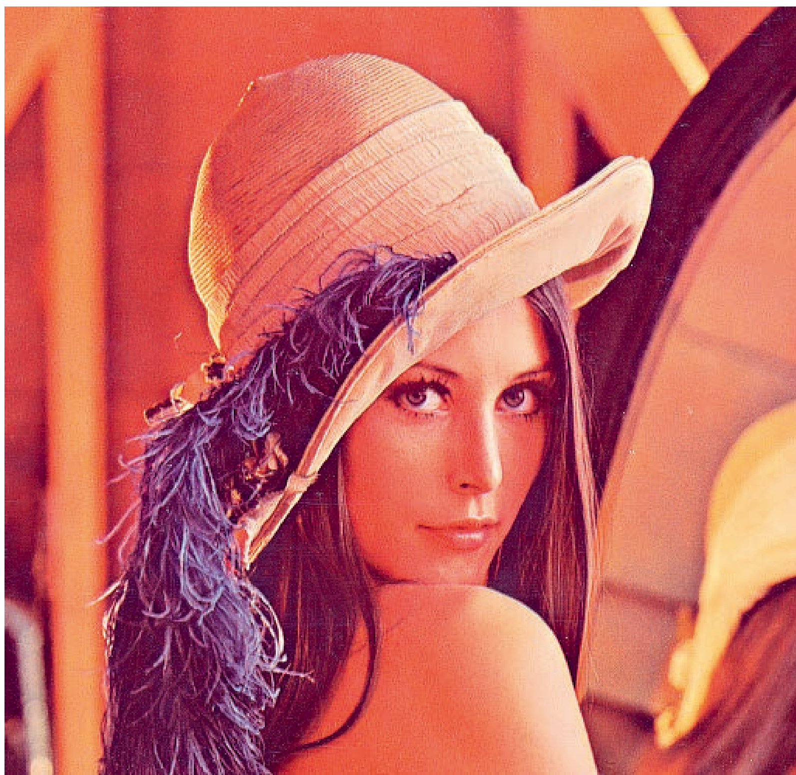
26



《花花公子》杂志对计算机科学的启发

科研工作中的趣闻轶事能显现出科学亲民的一面，往往能传为佳话。比如，粒子物理学家们都知道“夸克”一词来自詹姆斯·乔伊斯的小说《芬尼根的守灵夜》。天体物理学家们也应该记得，“大爆炸”一词的缔造者弗雷德·霍伊尔本想用这个词来嘲讽该理论，最终却被学界采用。如此看来，“莱娜”的故事也值得人们传颂，且听我细细道来……

下页照片上就是“莱娜”。从 1973 年起，计算机科学家们经常用它评估自己开发的图像处理程序，比如将图片压缩为常见的 jpeg 格式、消除图片噪点，等等。这张照片非常适合这类工作，因为它既有大面积的均匀色块，又有纹理和阴影，还有细致的头发、羽毛、织物……这对算法是一项考验。但是，是谁第一个想到要用这张图片呢？这个人就是亚历山大·索楚克，他当时是美国南加州大学信号与图像处理研究所的助理教授。索楚克想要找一张图片，好在研讨会上介绍工作用。但他厌倦了 20 世纪 60 年代初就开始使用的标准测试图，就想找一张光面的人像。这时，正好有人拿着一本《花花公子》（1972 年 11 月期）走进实验室……就是它啦！他肯定没想到，这个选择会载



© Playboy

入史册。在这期杂志里，有一张 21 岁的莱娜·索德伯格的美艳动人的照片。只要扫描图片，再把肩以下的部分裁掉就可以了。很多人津津有味地在网上寻找原始图片，想欣赏莱娜的“完整的”魅力，这倒也成就了一段科学趣话。

假如当年研究计算机科学的这群人不是以男性为主，也许故事就不一样了。与其随便找来一张照片，美女图不是更好吗？但计算机科学家采用情色杂志的插图，未免也太过分了吧？这岂不跟好色之徒一样了？该领域的某些研究者曾公开表达不满。况且，别忘了这张照片

还有图片版权！不过《花花公子》杂志很宽宏大量，至今都没有追究。

尽管如此，莱娜的故事远没有结束。在谷歌学术搜索上有 17 000 篇关于这张照片的论文。研究者们一直抱怨缺少这张照片准确、最初的数字化信息，无法有效工作。美国图像科学与技术协会（IS&T）波士顿分会主席杰夫·塞德曼计划与《花花公子》档案部展开合作，重新扫描这幅图，并将其作为 21 世纪比较图像压缩技术的参照……莱娜·索德伯格对此也毫不介意，还于 1997 年出席了该协会第 50 届大会。2015 年，她作为贵宾受邀参加数字图像处理国际会议（ICIP）的宴会。不知是不是巧合，这份 1972 年 11 月期的《花花公子》也是该杂志历史上卖得最多的一期，卖出了 700 多万份！

莱娜的照片被扫描一年后，一位计算机科学家首次在一个程序中显示了“hello world”一词。这随即变成一种传统，一直延续到今天：初学编程语言的新手们经常从这句指令开始接触一种新语言！计算机科学的各种“奠基神话”大部分形成于 20 世纪 70 年代，有些逸闻趣事还需澄清，就把这项工作交给未来的科学史学家吧！

27

互联网才不是21世纪最伟大的发明

几十年来，一些伟大发明颠覆了我们的生活，以至于我们现在都无法想象，如果没有它们，这日子该怎么过。没有冰箱怎么办？没有手机怎么约会？没有导航怎么赴约？

许多人认为，现代最伟大的一项发明是互联网。但他们忘了，21世纪最大的发明应该是网络啊！你可能要说我抠字眼了。网络和互联网不是一回事吗？其实，网络比互联网早20年诞生，电子邮件在互联网之前就有了！这些模糊的词汇之间还是有区别的。

只有互联网的世界会很无聊

互联网是一项杰出的发明。但是，让全球所有计算机都能呈现出同一张可爱猫咪的图像，这并不是互联网的功劳，它只是为此做好了准备。从20世纪50年代起，早在互联网诞生之前，线缆把计算机联系了起来。我们可以把数字世界想象成一个星球，每台计算机都是这个星球上的一个城市，两台计算机相连就好像在两座城之间开辟一条路，不过，这条路只有这两座城市之间能用，而且在发送任何东西之

前，两座城市通常都要先打好招呼，比如“我 3 小时后发一辆货车过去，把路清出来！”这种联网越来越多，到处都建起了小型私人网络，尤其是在军队和大学里，大家各有自己的一方天地。

20 世纪 60 年代，互联网出现了，方便了全球所有计算机之间的通信。首先，互联网实现了网与网的互联，而不再是两点之间的互联——所有网都连了起来，两点之间也不用再新建一条通路了！随后为了避免混乱，人们以协议的形式颁布了“交通规则”，其中最著名的是 TCP/IP。每个城市也都有了名字，即每台计算机的 IP 地址。

总之，在铺设网络前，我们就已经有了道路和交通规则，每个城市都有地址，但这就是全部了。现在还没有运输手段，城市里的不同房屋——计算机里的文件夹——还没有地址。当然，我们已经有许多或简单、或复杂的运输手段可用，只是还没有面向大众。最流行的手段包括 1971 年出现的用于文件交换的 FTP（文件传输）、1979 年出现的用于各种论坛的新闻组（newsgroups）。但这些都需要用特定的软件才能访问，那时还没有网络浏览器呢！此外还有 1965 年出现的电子邮件——这可比互联网稍早一点。

在那个年代，人们还无法“上网”，不能躺在床上，打开计算机，在网络世界里寻找制作梨酱的菜谱。“上网”还是一项相当复杂的活动，只有大学里的一小部分研究人员和军方可以使用网络。

网络发展的另一个掣肘之处是“时机”。直到 1977 年才出现最早的大规模销售个人计算机之一——Apple II 型计算机。最后，在 20 世纪 80 年代末 90 年代初，个人计算机才开始普及。1984 年，苹果公司推出了“麦金塔系统”（Macintosh）。一年后，Windows 视窗系统也问世了。那是一个欢乐的时代，“玩电脑”还是一个人的活动！

第一个网页

在美国硅谷，人们今天熟知的计算机技术正在孕育中。而同时，在瑞士日内瓦附近的欧洲核子研究组织（CERN）有个名叫蒂姆·伯纳斯 – 李的人也在为此工作着。这个组织自 1954 年创立以来就是一个令人称奇的地方，来自全球各地不同领域、不同文化的研究者汇聚一堂，通力合作。

当然，来自天南海北的人凑在一起，也不是没有问题。研究者们说着不同的语言，用着不同型号的计算机，就连计算机的系统、软件和使用方法都不一样。总之，说都说不清的混乱导致团队难以协作，人们很难共享知识，多少好主意也只能留在各自的脑子里！每次有新的研究人员来到欧洲核子研究组织，都要被介绍给许多人，掌握尽可能多的信息，就像给机器重新上润滑油一样。系统开发者也一个接一个地带来了自己的新系统，希望能“帮上忙”。结果，他们要求必须按某种格式把数据格式化，或是必须遵守某个协议……真是越帮越忙。

自 1980 年起，伯纳斯 – 李就在这里工作，目睹了一连串的沟通失败。1989 年，他想到一个主意，而这将改革整个计算机技术界。他提议，不要搞这些混乱的流程，要以连接用户为中心，统一起来。于是，由他发起倡议，让任何人在任何时候、在地球上的任何地方，无须向任何人提出请求就可以将一台计算机的某条信息与另一台计算机的信息相连。就这么简单。

为了达到目的，伯纳斯 – 李发明了至少 3 个概念和 2 个软件，它们至今仍在计算机上使用着。下面，我就来介绍这 5 个不可思议的发明。

点击这里

首先，要定义信息以何种形式出现。伯纳斯－李不可能选一个“傻兮兮”的纯文本文件，这类文件中没有链接。因此，他选择了超文本文件，这类文件在当时已很常见。顾名思义，超文本文件不光是文本，还加入了一点排版技巧，最重要的是，包含着指向其他页面的链接。比如，一段文本的开头以符号 <p> 标记，结尾以 </p> 标记。伯纳斯－李在超文本的概念上创造了“超文本标记语言”（Hyper Text Markup Langage），也就是如今常见的 HTML。下面就是一个以 HTML 写成的例子：

```
<html>
    <head></head>
    <body>
        <h1> 网页 </h1>w
        <p> 欢迎来到我的网页  <a
 href="http://info.cern.ch">web</a></p>
      </body>
</html>
```

浏览器会解读这个文本，并在标题（以 <hl> </hl> 标记）显示“网页”，在文本段落（以 <p></p> 标记）显示“欢迎来到我的网页”，最后还会把 web 这个词显示成一个链接，指向 http://info.cern.ch。这就是史上第一个网站，1990 年 12 月 20 日，它在欧洲核子研究组织上线！今天，网页依然是以 HTML 写成的。

谁发明了这么难念的 HTTP？

伯纳斯－李在定义了信息的呈现方法之后，还需要考虑如何传送。这其实没什么特别之处：和所有网络技术一样，它需要定义一个通信协议。这种协议就和人与人之间的协议一样，要列出交往规则，比如我会戴着帽子、打着领带来，然后我会敲两下门，你回答我一句暗号……

我在这里就不详述超文本传输协议（Hyper Text Transfer Protocol，简称 HTTP）的具体内容了。至少你现在明白了，为什么在网址开头有时会看到 http://，这就代表着网络通信协议。

过去、现在和未来的所有文件地址

伯纳斯－李发明的最后一个概念是"目的地址"。HTML 和 HTTP 提供了显示信息的必要工具和传送信息要遵守的协议，但我们还不知道往哪里传送啊！所以，要给所有文件定义一个地址，无论它在互联网的哪个地方。伯纳斯－李提出了"统一资源定位符"（Uniform Resource Locator，简称 URL），这就是大家平时一定看到过的"网址"，比如：

主机

http://www.ituring.com.cn/book/1982

协议　　要求的文件

现在，你应该知道这一连串地址代表什么了：http 表示要遵守的协议；www.ituring.com.cn 是域名，指出要找的文件所在的计算机；book/1982 则表示文件在这台计算机的什么地方。

这么简单的想法乍看之下似乎没什么大不了，但它让所有人都能以简单、清楚的方式创建链接，指向任何文件。最重要的是，创建链接不用经过别人，这个系统是完全“非中心化”的。程序读取 URL 地址，利用 HTTP 将请求发送至域名所指的计算机，一旦请求被接受，对方就会发回请求的文件。你每次打开一个网页都要经历这个过程。

为了让这些想法行得通，伯纳斯－李又设计了 2 个新软件，第一个软件用于请求网页并显示，这就是网络浏览器（如 Chrome、Internet Explorer 或 Firefox 等）；第二个软件用于接收请求并回复，这就是服务器。

1993 年，此时所说的网络以网页的形式出现在欧洲核子研究组织的一台机器上。现在就差个名字了。伯纳斯－李首先想到的是 Mine Of Information，意为“信息矿”。但这个词的英文缩写是 MOI，在法文中意为“我”——他不想显得太自大。之后，他又想到 The Information Mine，英文缩写是 TIM，正好是他的名字“蒂姆”——这也没有好到哪里去……最后，他终于决定采用 The World Wide Web。尽管有同事抱怨这个名字的缩写 WWW 念起来比原文还长，但伯纳斯－李还是觉得这个名字不错。于是“万维网”，也就是如今俗称的“网络”或“网”就这么诞生了。大家可以躺在床上尽情追剧，度过愉快的夜晚了。

AJAX：不是 AJAX 牌洗衣粉！

1993 年，网络的基础已经打下，但距离我们今天所知的网络还很远。在这个原始的网络上，用户只能读取，网页固定好了不能变，没有留言板，也不能发博文（那时也没有博客），没有安全的支付系统，所以也不能网购，没有通知、聊天功能，没有任何不刷新就能修改网页的方法，更不用说看视频和直播了。

幸好，欧洲核子研究组织决定免费公开万维网的源代码。于是，人们可以开发新浏览器、加入新功能。网上支付和第一批表单也随之出现了。1994 年创立的网景公司开发了同名浏览器 Netscape，成为网络发展的一个重要转折点。1995 年，一种新的语言——JavaScript 出现了。

如果你不是开发人员，你可能从来没听说过 JavaScript，但你在上网的时候可少不了它。JavaScript 在好几个方面将网络重新洗牌了。首先，这是一种真正的编程语言，可以编写任何软件。有了它，不用完全刷新网页也可以改变网页，谷歌图片的全屏显示、在地图上移动、玩游戏等功能靠的都是它。总之，网页活起来了！

网页加载之后可以加以修改，但内容还是不能更新，不能显示新收到的消息，不能实时显示音乐会还剩多少座位……要实现这些功能，还需要重新加载网页。

幸好在 2005 年，拼图的最后一块也出现了，这就是 AJAX。它集合了一组技术，由美国信息学家杰西·詹姆斯命名。有了它，Facebook 网页滚动到底部时就会自动出现更多内容，Twitter 时间线也一直会有新消息。总之，有了 JavaScript 和 AJAX，网页完全活了起来，加载完成后依然和网络相连！这些技术催生了 Web 2.0 时代的到来——我们有了一种鲜活、不断变动的网络，网页可以从外部更新、可以互动，无须重新加载。

AJAX 和 JavaScript 彻底改变了网页的外观和功能。今天，大部分网页并不是基于某台计算机上一个含有所有信息的简单 HTML 文件。博客的网页当然还是基于 HTML 文件，但会有一段 JavaScript 代码告诉网页去某个服务器上寻找评论，另一段代码则告诉它向另一个服务器寻找音频文件，或者指出存储图片的地方，等等。

你可能明白了，网页极少存储在单一服务器上，它越来越像一幅马赛克画，由不同服务器上的许多片段组成。

这看似简单，几行字就说完了，实际上可复杂得多！网络是全世界的合作成果，而且不断变化。20 年前，没人想到人类和机器竟能如此合作，通过几条基本规则就能欢乐、嘈杂地共处。

然而，伯纳斯 – 李并不是第一个构想出方便合作与信息传输的工具的人。在 1980 年，法国就有了 Minitel。它是由法国电信公司开发的。Minitel 与互联网最大的区别就在于，它是集中化的，具有管控意图。2012 年，Minitel 彻底被废弃。之前，它一直由法国电信管理，也就是由法国政府控制。而互联网真正做到了“无国界”，这也是它成功的保障。1994 年，伯纳斯 – 李创建的国际组织“万维网联盟”（World Wide Web Consortium，简称 W3C）发布了一些建议，希望大家都能遵守，但也不是强制性的。

语言之战的终结

有了当下各种技术，浏览器的功能越来越多，通过网页可以编辑图片、开视频会议，甚至编程。

但最了不起的是，从用户角度说，唯一必须使用的语言就是网络浏览器语言，即 JavaScript 和 HTML。正如上文所说，浏览器根据 URL 地址要求一个文件，然后对方发回一个含有 HTML 和 JavaScript 的文件。也就是说，如果你的计算机没有安装更多东西的话，你浏览的所有网页都是以这两种语言写成的。无论是 Google Docs、Agar.io 还是 Netflix，这些网页就是一些 HTML 和 JavaScript 文件。

或许你经常听说所谓的“云”（cloud），这正是一种极致的网络愿景，所有计算机都简化成网络浏览器，解读 HTML 和 JavaScript，其他一切都远程完成。今天，人们也许已经不怎么区分“互联网”和“网络”。不出几年，可能也没什么人会去区分网络浏览器和操作系统了！

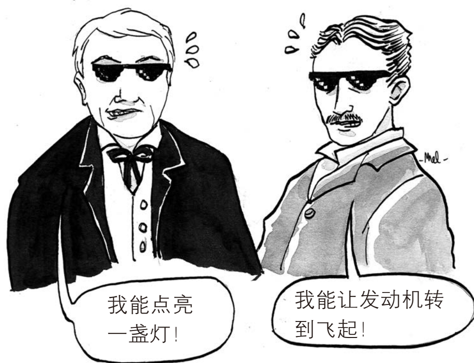




28

逆流之电

100 年前，谁能想到托马斯·爱迪生和尼古拉·特斯拉的发明会产生如此之大的回响？照亮屋子的白炽灯就诞生在爱迪生的实验室里，而电网的技术基础正是依赖于特斯拉的发现。这两个人物各有传说，爱迪生往往被推向神坛，被当成伟大的发明家、无与伦比的创新工业领头人，而特斯拉是典型的先驱学者，其死后 50 年后，他的研究成果才被发扬光大，孕育了伟大的发明。人们很喜欢在“电流之争”中把二人



对立起来，大部分人都认为，爱迪生支持直流电而特斯拉支持交流电。

其实，这种理想化的观点和二人实际的所作所为相去甚远。当然，爱迪生和特斯拉都是很重要的人物，但他们不是人们想象中的那种天才、梦想家、不知疲倦的创新者……爱迪生并没有独立发明白炽灯，特斯拉也没有发明交流电，至于著名的直流电与交流电之争，还要放在历史环境中重新审视。

让我们来梳理一下这段故事，试着接近历史真相。

白炽灯是爱迪生发明的吗？

我们先从托马斯·爱迪生开始。1847 年，爱迪生出生于美国俄亥俄州。他被视为美国最伟大的发明家之一。爱迪生从 14 岁左右就开始自己工作谋生，先是卖糖果，之后又供职于当地的报社，还曾在从美、加边境的休伦港到底特律的火车上担任列车员。他在火车上做了几次失败的化学实验后，就被赶下了火车。结果，他另谋生路，竟然成了发明家！他发明了“四路多工”电报（这是对普通电报的优化，可以同时在两个方向上传输两条信息）、一种电话和一种改良留声机[①]——历史还记得这些贡献。但说起爱迪生，人们通常把他和白炽灯泡的发明联系在一起。让我们看看究竟发生了什么，了解爱迪生在这项发明中的贡献。

直说了吧，爱迪生并没有“灵光乍现”，从零开始发明了灯泡，并将其投入工业生产。其实，他经常借鉴别人的想法，从已有技术中汲取灵感，并在改善后将之大量生产。

白炽灯泡也是，没人料到他会对这个东西感兴趣……当时，已有人在研究两种电灯泡：一种是弧灯，即在灯泡中放入两个电极，产生电弧

---

① 爱迪生和贝尔竞争发明电话，在贝尔取得巨大进展时，他也做出了自己的版本。而且，爱迪生最初并没想将自己的留声机用于娱乐。



来发光；另一种是白炽灯，利用焦耳效应[①]将灯丝加热到高温，再来发光。两种灯泡都已经存在了！所以说爱迪生发明了白炽灯是不对的。

弧灯主要有两个问题：它需要很高的电压，产生的光太强且不稳定。白炽灯也不是没有缺点：其灯丝是碳丝（当时的最佳材料），这让白炽灯无法批量生产并以适当价格出售；而且灯丝的寿命很短，被加热后逐渐消耗，最多几小时后就会断开；另外，燃烧会在灯泡内产生烟，黑色残余物让玻璃内壁变黑，灯丝没断前，灯泡的亮度就会大大减弱。

爱迪生如何把"前途渺茫"的灯泡变成了不可或缺的商品？答案只有三个字——下功夫！他曾尝试过许多方法，可惜都没什么成果，但他依然坚持。幸运的是，爱迪生身边有许多合作伙伴，帮他一起想办法。

电流通过灯丝时，会导致灯丝快速燃烧。为解决这个问题，爱迪生尝试了两种办法：第一，尽可能把灯泡抽成真空，将燃烧速度降到

① 电流通过导电材料时，因电阻而生热。

最低；第二，找到一种不会损耗或至少损耗没这么快的灯丝材料。

我们先看第一种方案。为什么要把灯泡抽成真空呢？这是为了减少燃烧必需的氧气。燃烧需要燃料（如蜡烛中的石蜡）和助燃物（氧气），如果灯泡中的氧气很少，灯丝就能维持更长时间。所以，要用强力泵把灯泡抽成真空。然而，为了降低灯泡的造价，需要研究出制造真空玻璃灯泡的工业方法，来替代人工吹制。在 19 世纪后半叶，这些工艺都是巨大的挑战！

在灯丝材质问题上，爱迪生想用铂金代替碳。铂金的熔点高，比碳更耐氧化……他坚信铂金是最好的选择，甚至无视技术上和经济上的现实困难。其实，爱迪生面对着多个无法逾越的障碍：一方面，铂金的熔点低于产生足够光线所需的温度；另一方面，铂金十分稀有，因此也很昂贵，不可能用铂金做出物美价廉的产品。

因此，爱迪生同时也努力改善碳丝。以前人们怎么制造碳丝呢？技术相对简单：将纤维碳化并做成丝状。纤维可以来自纸板、布，甚至竹子！而竹子这种材料的结构、组成成分和阻燃性更为卓越，成为当时生产灯丝的最佳材料——至少对爱迪生打算投放市场的灯泡是如此。爱迪生测试了许多材料来确认这一点，还派助手寻找世界各地质量最好的竹子。

尽管爱迪生对碳丝做了这么多研究，但他还是坚信铂金更好。在 1878 年末，他甚至宣布将把铂金灯泡投放市场，而一直尝试的竹丝研究终将无果而终。幸亏，竹丝研究及时大获成功，让他改变了主意。爱迪生用竹丝成功生产出可供大量销售的灯泡，才没有颜面扫地。

但是，这些灯泡的寿命距离几千小时的目标还差得远。当时，其他灯泡的平均寿命不到 40 小时，而爱迪生说自己生存的灯泡寿命长得多。众人当然不信。他只得在门洛帕克的实验室里进行大规模展示。灯泡的寿命延长，这对灯泡的推广起到了决定性作用，而且爱迪生的

灯泡比弧灯更省电。

1879 年，爱迪生启用白炽灯的新工艺。然而，是谁发明了白炽灯，至今仍有争议，爱迪生仅改善了已有的东西。英国发明家约瑟夫・斯旺也研究过白炽灯。早于爱迪生几年，他就展示过部分抽真空的碳丝灯泡，并在英国申请了专利。因此，爱迪生和斯旺的公司发生了纠纷。而专利纠纷的结果往往是你死我活。斯旺和爱迪生的专利各包含碳丝灯泡制造工艺的一部分。投资者为减少经济损失，迫使爱迪生接受其在英国的子公司与斯旺的公司合并。一家新公司在英国创立了，这就是“爱迪生斯旺联合电灯公司”，其主业是制造灯泡。

天才发明家闭门造车就能创造白炽灯泡，这种想象距离现实很远。

特斯拉，交流电与未来的发明

1856 年 7 月 10 日，尼古拉・特斯拉出生在位于现克罗地亚境内的一座名为史密里安的小村庄里。与爱迪生不同，特斯拉曾经深入地学习过科学。他虽不是自学成才，却在年少时就表现出对科学和实验的热爱。在一节讲述电动发动机的物理课上，特斯拉第一次接触到直流电，并模糊地构想出制造交流电发动机的方法——老师说，交流电发动机是造不出来的，但特斯拉直接质疑了这种看法。今天，正是这些发动机让高铁飞驰。

电池释放的就是直流电，电子永远朝一个方向运动，即从负极到正极。电池两端的电压是恒定的。而在交流电中，电子的运动方向随时间改变，电压呈正弦变化。我们家里的插座提供的都是交流电，电流方向每秒变换 100 次，即频率为 50 赫兹。

据说在 1882 年的布拉格，特斯拉突然有了一次“顿悟”。那时，他正和朋友安东尼・西盖蒂一起在公园散步。特斯拉背诵了一段歌德



的《浮士德》，然后突然想出了制造交流电发动机的方法。

他和西盖蒂在布达佩斯短暂停留后就被送往巴黎，前往查尔斯·巴彻勒领导下的爱迪生照明系统公司的欧洲分部。然而，特斯拉觉得自己的付出并没有得到足够的报酬，于是在几个月后就辞职了。但巴彻勒觉得特斯拉是个天才的发明家，于是为他写了一封推荐信，引荐他去纽约见爱迪生。传说信中有这么一句话："我认识两位伟人，一个是您，另一个就是这位年轻人了。"[1]

特斯拉抓住了这次机会。一路旅途坎坷[2]，他最终来到纽约。特斯拉对自己的想法充满信心，急切想展示自己的发明是多么伟大。但是，

① 按照 W. 伯纳德·卡尔森撰写的《特斯拉：电气时代的开创者》一书，这封信应该是企业家蒂瓦道尔·普什卡什写的，也是他推荐特斯拉和西盖蒂去爱迪生在巴黎的公司工作。——编者按

② 一路上，他弄丢了车票、钱和一部分行李……

他在爱迪生那里没干多久就又离开了，原因尚不清楚。因为钱？因为爱迪生批评了特斯拉发明的弧灯？我们已无从知晓。

特斯拉选择独立创业，虽然算不上一帆风顺，但通过不懈努力，他终于和两位工业创新技术专家佩克和布朗一起创建了特斯拉电气公司，目标就是开发交流电发动机。

他们采取的策略是“专利－推广－售卖”。先为发明申请专利，避免别人抢注，再向潜在买家推广，然后把专利卖出去。特斯拉为一种直流发电机和一种交流电发动机申请了专利，然后联系该领域的专家，组织了多次推广活动。那时与欧洲相比，交流电在美国还不普及，要说服人们相信交流电对发电和用电都有好处，特斯拉还要让专家们相信，他的交流电发动机比纷纷出现的竞争产品好得多。

最后，特斯拉把发明卖给了一个成功的商人——乔治·威斯汀豪斯。威斯汀豪斯靠修建铁路发家，并希望进入电力领域。与强大的竞争者爱迪生不同，威斯汀豪斯觉得交流电前景很好，因此想多购买几种相关专利①，包括欧洲研发的变压器和特斯拉电气公司的直流发电机和交流电发动机。

从 1888 年 7 月到 1889 年 8 月，特斯拉和威斯汀豪斯的工程师们一起工作，试图将其发动机工业化。但一些实际问题出现了：需要使用多少电压、多少频率和多少电线满足发动机供电？当年没有任何通用标准，特斯拉必须建立一个能被大多数人接受的体系。

直到特斯拉离开美国时，这项工作也没有完成。一直到 1893 年，威斯汀豪斯才有了足够的技术和金钱继续对特斯拉的成果进行商业开发。从想法到实现，经过了将近 11 年！

特斯拉似乎一直认为，只要在脑子里想好了，发明就会完美运行。

① 购买特斯拉的专利前，他还买了戈拉尔和吉布斯的变压器专利。要改变交流电电压，必须要用变压器。那时还无法改变直流电的电压。

然而，经过与威斯汀豪斯共事，他才明白一个想法要经过很长时间才能慢慢成熟，才能达到批量生产的条件。特斯拉发动机能获得成功，要归功于不同因素的共同作用。这其中少不了合伙人佩克和布朗在正确时机运用正确策略的才能。此后，特斯拉也曾独立尝试把相同方法套用到其他发明上，但再也没有像发明交流电发动机时那么成功。比如，他发明了一种圆盘涡轮机，但从未实现工业化生产，因为涡轮无法承受所需转速；他还发明了一种遥控轮船，但在特定展示水池之外从来没有灵光过……特斯拉的一生中充满了无疾而终的实验，但不可否认，他确实推动了许多真实的创新，比如交流电发动机。

和白炽灯一样，交流电发动机的发明者到底是谁，答案也充满了争议。加利莱奥·费拉里斯在都灵研究过旋转磁场[①]，多利沃–多布罗沃尔斯基在法兰克福国际展览会上也展示了靠交流电工作的完整系统，美国也有好几位发明家试图开发和特斯拉类似的发动机。但据史料记载，特斯拉是第一个为发明申请了专利并加以推广的人，尽管道阻且长，困难重重。

特斯拉构想出了交流电发动机，以及如何发电、如何用交流电驱动发动机的方法，顺应了时代需求。威斯汀豪斯坚信特斯拉的想法是正确的，将其发明工业化并推广。美国汤姆森–休斯顿电气公司的想法和威斯汀豪斯一样。1892 年，这家公司和爱迪生公司合并，通用电气公司就此成立了。

直流与交流之争，想象出来的对立

爱迪生和威斯汀豪斯开始在美国不同地区安装各自的系统——两大电力巨头宣战了。爱迪生相信直流电比交流电好，威斯汀豪斯则正相反。

---

① 他似乎认为这不能用来制造发动机……

争论的焦点到底在哪里?当时,电报和蓄电池的普遍使用让直流电不可或缺,但用电线输电时就会产生问题:电力会因焦耳效应而损耗。解决方法是高电压、低电流输电。可是,直流电一旦被发出就不能改变电压,所以必须按照用电设备的电压发电。当时的设备电压都不高,所以必须在使用地附近发电,以减少电力损耗。

交流电则不同。在欧洲人发明了变压器后,从 1850 年起,交流电电压可随意改变,人们开始用高压线远距离输电。

欧洲很快转向交流电的怀抱。而在大西洋的另一边,爱迪生却不惜一切地推行直流电,因为他的生意依赖直流电地方发电站的建设和直流电电气材料的制造。除了钱的原因,爱迪生的观念也影响着他的立场。爱迪生认为,交流电从本质上说更危险。他从宣传演变成攻击性的诋毁,公开展示交流电的危险性,用交流电电击动物,甚至竭力建议第一次电椅行刑使用交流电。

爱迪生的一番苦心并没有收到预期效果,舆论开始反对他,反对他的极端想法。交流电凭借诸多优势很快在美国铺开,自此成为电力界的标准。

特斯拉和爱迪生相争,这种说法不大准确。想要发展不同工业设备的是爱迪生和威斯汀豪斯。当然,特斯拉在媒体前和推广活动上推崇的交流电与爱迪生推崇的直流电对立。但正如上文所说,交流电当时已在欧洲得到广泛使用。只不过,特斯拉发明了一种交流电发动机并与威斯汀豪斯合作,因此,他不过是推动交流电在美国实现工业化运动中的一环。所以,这应该是大胆选择新技术的威斯汀豪斯与保守的爱迪生之间的对立。

特斯拉的一生充满了失败、笑柄和精彩表演。他深知,想要扬名并吸引投资者,广告宣传必不可少。另外,他的发明展示如同精彩的魔术表演,他的声明一个比一个耸人听闻,这才造就了今天他在人们



心中“科学狂人“的形象。

许多影视剧和漫画都曾以他为原型，塑造出一个科学大反派的形象。今天，特斯拉又成了极客的偶像，代表着超前时代、不被理解的伟大发明家。新纪元运动和阴谋论者也利用这位偶像贩卖自己“与众不同”的思想。

特斯拉和爱迪生二人的名字将永远和某些发明连在一起。但是他们最多只算是先驱，而不是真正的首创者。二人非比寻常，一生追求精彩，这让他们名扬天下。但是，一众同样参与了发明创造的科学家们却名不见经传……



29

恒星“适居带”之外的生命



1995 年，两位天文学家发现了一颗太阳系外的行星，它也是人们发现的第一颗围绕另一颗恒星运行的行星——飞马座 51b。此后，太阳系外行星被接连发现。它们大都和地球截然不同，不是太大，就是太热。据估计，仅在银河系中，这样的行星就有数百亿，而我们已知和银河系一样的星系有几千亿个。真让人眩晕！我们永无休止地寻找太阳系外行星，而这种热情背后隐藏着另一个人类的期盼：是否存在另一种生命形式，甚至是另一种智能生命？

生物学家认为，生命必须要有液态水才能发展，这是最基本的准则。在水中，有机分子可以反应、交换化学能、互相结合，继而变得越来越复杂。这是形成生命世界的第一批砖瓦。但是，哪里会有液态水呢？天体物理学家在知道恒星的表面温度和恒星大小后[①]，很容易推算出它辐射的能量，由此便可算出距恒星一定距离、受其辐射的某颗行星的表面温度。“适居带”的概念由此而来，这指的是距离恒星既不太远也不太近的地带，理论上，那里的温度在允许液态水存在。地球

① 通过观察不同波段的辐射光谱，如紫外线、可见光和红外线，就可知恒星的表面温度。这就是光谱分析。

离太阳 1 亿 5000 万千米，恰好在太阳系的“适居带”中，地球的表面平均温度为 15℃。

然而，行星即使位于“适居带”，也绝不意味着上面一定有液态水存在，更不用说生命了！同时，液态水也可以存在于“适居带”之外很远的地方。看看我们眼皮底下的例子——我们自己的太阳系就能明白。

金星、火星和地球一样，都位于太阳系的“适居带”中，但这两个行星表面并没有液态水，都是岩石。为什么呢？因为就算行星表面的温度足够让水呈液态，也要考虑其他物理和化学参数，其中最重要的一项就是大气压。

火星的表面温度在 −100℃至 +15℃之间波动，但是火星的大气十分稀薄，现有大气压太微弱，因此水不能保持液态，而会从固态直接变为气态。有人说，火星的大气在很久之前厚重许多，液态水可能持续存在过，但现今已经不可能了。在几十亿年中，火星的大气被一点点侵蚀，：火星大气没有磁场保护，高能质子组成的太阳风径直刮过，不停地把火星大气吹向太空。金星有很强的磁场，不会遭遇这种现象。它比地球离太阳更近，表面自然也更热。它的大气浓密得多，温室效应很强，地球的温室效应不可与之同日而语。于是金星表面的温度可轻易达到 400℃。这如同炼狱一般的温度，再加上很强的大气压，水不可能以液态存在。总之，就我们目前认识的生命而言，今天，这两个行星都不适合任何形式的生命居住。

液态水在意料之外的地方

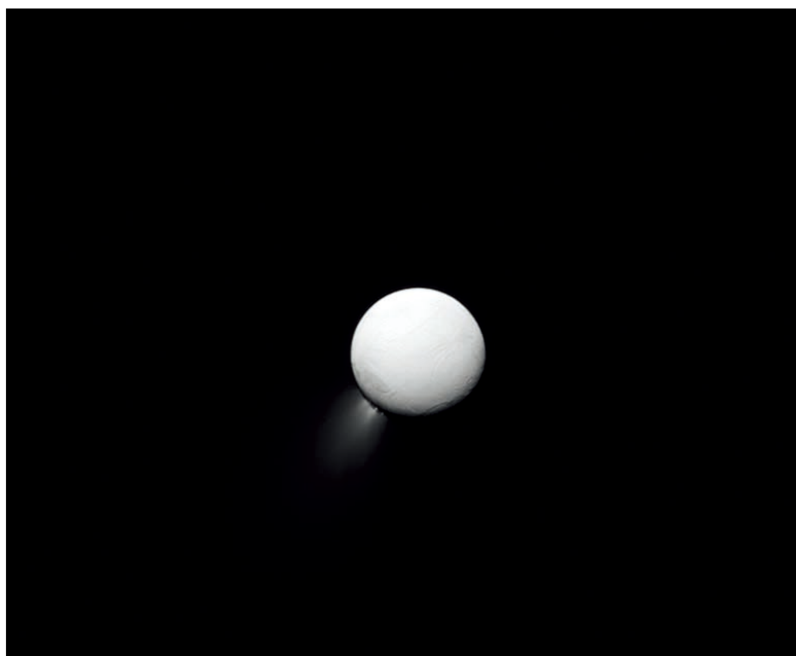
除了我们的蓝色星球之外，液态水的确也存在于太阳系的其他地方，而且远在包括了地球、火星和金星的这片小小的“适居带”之外！

最大量的液态水存在于太阳系的边缘，不在行星上，却在行星的某些卫星上。空间探测器给我们带来了一个令人难以置信的消息。从 20 世纪 70 年代起，人类发射了好几台空间探测器，如"先驱者"号、"旅行者"号、"伽利略"号、"卡西尼"号、"朱诺"号，它们去探索木星、土星、天王星、海王星。"卡西尼"号在 2017 年 9 月之前一直位于土星轨道上工作[①]，而"朱诺"号则于 2016 年夏初才到达木星周围。这些庞大的行星有许多卫星，大小和性质各异。探测器近距离研究了这些行星及其某些卫星，发现了很多令专家惊奇的现象：木卫二、木卫三、土卫二和土卫六在厚厚的冰冻外壳之下，似乎有广阔的液态水海洋。

木卫三和土卫六上存在液态水，是科学家通过轨道运行和附近测得的引力场而间接推算出的，而木卫二和土卫二上的液态水则是直接观察到的——有水从冰壳中"漏出"。人们对土卫二的研究更多些，"卡西尼"号自 2004 年起就在监测它（见下图）。在土卫二的南极，液态水形成了深达数千米的海洋。对喷发蒸汽的分析表明，这里的液态水不仅又咸又热，还含有有机分子……

这些液态水的量也很可观。在木星的卫星中，木卫三上的液态水估计是地球液态水的 6.2 倍，且不少于其总质量的 5.4%，而地球上的液态水只占其总质量的 0.02%。真是相形见绌啊！木星最小的卫星——木卫二的海洋所含液态水可能是地球液态水的 2.5 倍，相当于其总质量的 6.4%。那土星的卫星呢？土卫二很小，液态水可能占其总质量的 14%，相当于地球液态水的百分之一，而土卫六的液态水占其总质量的 11%，可能是地球液态水的 11.4 倍！当然，这些数字只考虑了液态水，没考虑这些卫星表面同样大量的冰冻固态水。在遥远的未

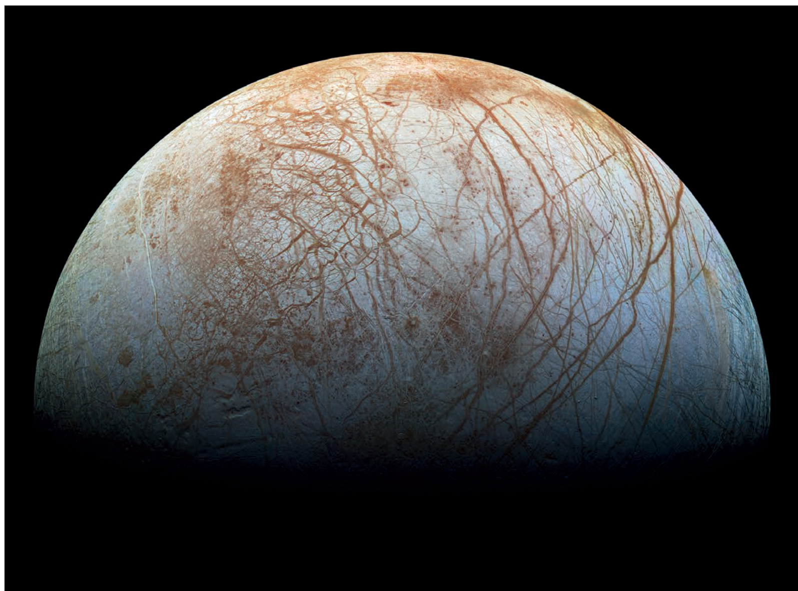
① "卡西尼"号已于 2017 年 9 月退役，坠入土星大气层。——译者注



2012 年卡西尼号探测器拍摄的土卫二，可见往外喷出的水
© NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

来，当太阳增大变成红巨星时，这些冰就会融化……

离太阳系“适居带”这么远的地方怎么还会存在液态水？液态水存在所需的热量大概来自巨型行星（木星和土星）的潮汐力。潮汐力由强大的引力场产生，让绕其运行的小天体不断变形，就像月球和太阳的引力让地球上的海洋变形一样。小卫星内部形变，让岩层摩擦生热，放出巨大的热量，能将土卫二海洋板块的温度提升到 90℃以上，而且是在高压之下！



1997 年伽利略号探测器观测到的木卫二，冰壳显示出惊人的纹路，
表面下藏着一片广阔的液态水海洋
© NASA/JPL-Caltech/SETI Institute/Cynthia Phillips/Marty Valenti

新的适居世界

不久前，土卫二的冰壳又显露出一个新秘密。"卡西尼"号在探测壳层裂缝喷出的水汽时，发现其中存在标志性的二氧化硅颗粒，这表示很可能有热液活动……这是第一次在地球以外发现这种活动。热液活动意味着不仅有液态水，而且还是热水，而热水是对生命有利的环境。在此之前，这些物理、化学过程只出现在地球的海底火山中。

土卫二的这些特征与地球大西洋中一个非典型热液区有着惊人的相似之处。这一区域被称作"失落之城"（Lost City），在 10 多年前发现，里面有几十米的石灰岩柱，水温达 90℃，pH 值在 10 左右。这些

热液区也是许多有机分子的发源地。专家估计，在原初地球上，这样的碱性温泉中可能有最早的生命形式。也就是说，土卫二上发现相似的热液活动，这不仅是有趣而已，还揭开了更深远的探测前景……

在近 20 年前，木卫二的液态水海洋就被“伽利略”号探测器发现了（见上页图）。2013 年，哈勃空间望远镜也在木卫二的一极探测到类似蒸汽喷射的东西，很像土卫二上的喷射。木星对木卫二的巨大潮汐力比土星对土卫二的还要强。根据哈勃望远镜获得的光谱，木卫二上的液态水和土卫二上一样，不仅是热的，还是咸的，很可能富含金属化合物和有机化合物。

虽然木卫二、土卫二这两个小小“世界”远离理论上的太阳系“适居带”，但它们看起来比今天的火星和金星适居得多。而且这可能只是冰山一角。据天文学家估计，其他许多气态行星的卫星在广阔冰壳下也有液态水，比如木卫三、木卫四和土卫六，海卫一也很有可能。最近，远距离观察和实地观察都表明，天王星的 5 个最大卫星，即天卫一、天卫二、天卫三、天卫四和天卫五，很可能存在过远古海洋，只是后来海洋凝固了。谷神星等矮行星的中心可能也如此，“黎明”号探测器仍在探索谷神星。2015 年，美国“新地平线”号探测器飞过的冥王星也一样。

由此，以我们自己的太阳系为例，就能对所谓“适居带”提出质疑。发现太阳系外“适居带”行星的消息通常会引得媒体一片沸腾——其实他们只是炒作而已。媒体还会将这些行星简称为“适居行星”，但这实在有待商榷。太阳系的例子已经表明，在行星围绕恒星的系统中，按照恒星辐射以及行星到恒星距离而得出的行星表面温度来定义“适居带”，实在太过简单化了。实际上“适居带”要广得多。既然液态水存在于太阳系的许多地方，是否可以猜想生命也可能广泛存在？若想证明，我们只能去土星附近一探究竟。

30

（伪）后记：如何确立一种理论

你手中的这本书介绍了一些貌似“反常”的科学发现。但是，你有没有花时间思考一下科学研究本身的“颠覆性”呢？“科学”一词的含义本来就充满了误解。比如，科学哲学家经常说：“证伪，是证明一种科学假说的好方法。如果一直证伪失败，便可认为假说大概为真。”也就是说，至少在被证伪之前，假说可以被视为“真”。这话听起来有点玄妙，但它揭示了科学的最大矛盾之一。一方面，无论哪种实验科学，物理、生物、化学等的研究者都明白，在提出假说之前，他们不可能观察一切，因为不可能观察未来。但别忘了，科学理论的用处正是预测未来，也就是预言未来会观察到什么。另一方面，科学的目的就是尽可能准确地描述和解释世界。

然而，媒体展现的“科学”总是一副高深莫测的样子，好像外行肯定搞不懂。用词也常常不容置疑，比如“科学肯定……”“科学发现……”“科学证明……”。

把“科学”视为不会出错的权威、不可辩驳的真理，是完全扭曲的观念。科学和法学一样，是不可达到“绝对真理”的。每个人都通过尽可能客观的因素去接近真理，但客观因素无法穷尽。于是，科学

研究只表明一种现实，想达到最终的科学真理只是一个理想。人类想更好地理解这个世界，了解它是怎么运行的，并充分利用它，科学就由此而来。

不幸的是，尽管考古学家、历史学家和各领域学者已经很细致地搜寻过，但还是没有找到关于宇宙运行的详尽的说明书，找到的只有快速指南。一定要坚持！人类不会轻易放弃。同时，我们也开始自己编写宇宙的说明书。古典时代就已经有希腊哲学家问过，什么才是理解我们这个世界的正确方式[①]。

由此，出现了多种构建知识的方式，它们以前——现在也是——依赖几种思考问题的方法，即所谓的“推理”：从前提出发，以逻辑得出新的论断、新的知识。一直以来，科学方法中有三种最重要的推理形式：演绎、溯因和归纳。

杯水与汪洋

我们先来说说演绎。在科学方法中，演绎用来从总体理论推出具体情况。比如，已知有一片咸的汪洋，我们从中以杯取水，便能推出“我可取到一杯咸水”。演绎的特点是得出的结论永远为“真”。如果结论是错的，那不是因为推导不正确，而是因为立论的假说就是错的。

演绎是科学方法的支柱，可用它做出预言。如果某理论成功预言了一个明确的事件，哪怕是还未观察到的事件，都证明理论是对的。

但是，如果现实与理论的逻辑结论不符呢？我们观察到的与理论预言的不一样呢？演绎所得的结论不可能错误，一旦结论与观察到的

① 亚里士多德是最早对此问题感兴趣的人之一，他说：“当我们认为知道事物产生的原因，又知道这个原因正属于这个事物，而且该事物又不可能是其他事物时……我们就认为以绝对方式掌握了该事物的科学。”（《后分析篇》I.2）

显示出现矛盾，就说明理论本身错误，要么是定义不严密，要么是不适用于观察对象。我们可以自己用实验证伪。一旦找到反例，也就知道理论是错的。

然而，这并不是真正的进展……我们的目的是要产生知识，也就是要在已有知识中加入新理论。如果证伪了一个可能补充知识的理论，这不是让努力都白费了吗？证伪也不是没有用，与预言矛盾的观察正是真正的大发现！虽然所得结果不合预期，但我们还是找到了一个尚无法解释的特例，一个有待研究解决的谜题。

为了发展出一个能包容这一特例的新理论，我们可以采用另一种方法。比如，已知有一片咸的汪洋，而我有一杯咸水，可得结论"这杯水可能取自这片汪洋"。这种推理称为溯因。溯因推理是科学的创造力所在，为无法解释的特例构想出新的假说。

但是，溯因也要遵守一些规则。首先，假说应当仅涉及解释新现象所必需的要素。解释"水为什么会在 100℃沸腾"并不用追溯到宇宙的起源。

其次，假说要有可能。假设把一只猫和一只老鼠关在盒子里，如果再次打开盒子时，我们发现老鼠无影无踪，就说是无形的"汪星人"[①]把老鼠救走了，那也太扯了！

最后，假说还要可验证。科学研究只关心世界的有形事物，必须用物理和数学工具去验证。再提醒一下，我们的目标是更好地理解世界。无形的事物无从验证！举个例子，"猫把老鼠吃了"这个假说就既简单（猫是肉食性捕食者）又可能发生（我们以前见过猫吃老鼠），还可以验证（只要看看猫胃里有什么就可以了）。

然而，就算假说简单、可能发生又可验证，我们也只能一定在程度上相信，最好只是"应该为真"，最差也是"可能为真"。这已经算

① 大家都知道，"汪星人"讨厌"喵星人"。

不错的了，但对获得知识却远远不够，因为知识就是要确定才行。

不过，溯因对第三大推理形式——归纳非常有用。

归纳，就是在观察许多个例后，总结其共性。归纳依靠了人类举一反三的习惯，完美地体现了人类的特点。比如，我从汪洋中取了许多杯水，每杯都是咸的，因此，再取一杯也是咸的。

注意，归纳与演绎相反，就算所有前提都为真，归纳也可能得出错误的结论。在上例中，再取一杯水，完全可能不是咸的。

归纳是一种概率性推理，有可能得出错误的结论。

确定性的诞生

有了这些逻辑武器，我们是不是就能绝对确定某一科学理论为真或为假呢？

答案很简单：不能。理由是，在自然科学中，溯因或归纳得出的结论总可能出错。所有研究者都明白，绝对确定只是幻想，我们最多只能得到“极可能为真”的知识。科学家要做的就是提高为“真”的可能性，直到几乎确定。

虽然不可能绝对确定，但也不必因此就放弃科学。我们可以试着列举科学所必需的公理——没有公理就没有科学。我们要定义所谓“真”的出发点。

首先，世界存在；其次，现在和未来，宇宙都以同样方式运行。比如，纯银在 1 个大气压下被加热到 1000℃就会熔化。在今天这是真的，在昨天和明天，这也是真的。换句话说，主宰宇宙的规律（也就是人们想发现的规律）在过去、现在和将来都一样。这看似没什么了不起，但是如果没有这个公设，人们就不可能获得一丁点儿知识，因为将来所有与理论矛盾的观察都可被解释为“宇宙规律”变了，而不

再需要构筑新理论。

然后，面对一个存在且规律恒定的宇宙，我们可以提出假说，检验其是否可靠，并请其他研究者重复实验，以保证不出错，最终形成科学理论。这些被科学界认可的理论又将用于提出尽可能可靠的新理论。科学家可以溯因，但由此提出的假说在最好的情况下也只是"大概为真"；科学家也可以归纳，但归纳出的共性无法确定永远为真，他们只能接受由此引发的所有问题；科学家还可以演绎，但演绎并不能带来新知识，只能检验已形成的理论是否会引出荒谬的结论。难怪有人认为，所有这些都不足以确立一种科学理论，这其实不无道理。

想要检验某个理论是否科学，我们还需要另一个标准——可证伪性，也就是说，可以通过实验来反驳。如果没有这一条，就是"不可证伪"。不可证伪看似挺厉害，但在科学上却不是件好事！

正如伯特兰·罗素曾做的那样，我们假设地球和火星之间有一只陶瓷茶壶。它如此之小，任何测量仪器永远都观测不到……我们不能研究它，但也无法证明它不存在。这只茶壶就没有任何科学意义。再举一个例子。古代炼金术声称，要把铅变成金，炼金者首先要净化自己的灵魂。那么，炼金失败是因为炼金者的灵魂不够纯净，还是因为简陋的工具不可能把一种金属变成另一种金属？灵魂纯不纯根本无法度量……

不可证伪的理论就如一条死路，毫无意义，不能称为科学理论，最多只是一种描述，时而成立，时而不成立，不成立时就将反例包含在解释中。

科学自身的颠覆性恰恰在于此。建立理论的基础并不在于用观察结果证实理论（佐证），而在于寻找反例（证伪）。严谨的科学工作不光是提出漂亮的假说，再通过多次观察来证明它，科学工作首先要不停地寻找任何形式的反例。

真正的科学家不求佐证，只求证伪失败。

参考文献

1. 直立进化史：大家都能站起来

长颈羚

Leuthold Walter, 1978, “Ecology of the gerenuk Litocranius walleri”, *Journal of Animal Ecology*, 47 (2): 561–580.

大食蚁兽

Rodrigues F. H. G. et *al*., 2008, “Anteater behavior and ecology”. In Vizcaíno S. F, Loughry W. J., 2008, *The Biology of the Xenarthra*, University Press of Florida, pp. 257–68.

穿山甲

The World Conservation Union, 2014 : *IUCN Red List of Threatened Species*, 2014. “3. Summary Statistics for Globally Threatened Species.”

R McN Alexander, 2004, “Bipedal animals, and their differences from humans”, *J Anat*., 204(5): 321–330.

Malfatti Mark, 2007, “A Look at the Genus Ctenosaura: Meet the World’s fastest lizard and its kin”, *Reptiles Magazine*, 15 (11): 64–73.

Full RJ, Tu MS., 1991, “Mechanics of a rapid running insect: two-, four- and six-legged locomotion”, *J. Exp. Biol.*, 156:215–231.

蛇怪蜥蜴

Glasheen JW, McMahon TA., 1996, “A hydrodynamic model of locomotion in the

Basilisk lizard", 380:340–342.

章鱼

Huffard, C. L., Boneka, F., & Full, R. J., 2005, "Underwater Bipedal Locomotion by Octopuses in Disguise", *Science*, 307(5717), 1927-1927.

2. 拯救寄生虫

Hughes D. P., Brodeur J. et Thomas F., 2012, *Host manipulation by parasites*, Oxford University Press.

Thomas F., Renaud F. et Guégan J.-F., 2005, *Parasitism & Ecosystems*, Oxford University Press.

Hughes D.P., Kronauer D.J.C. et Boomsma J.J., 2008, "Extended phenotype : nematodes turn ants into bird-dispersed fruits", *Current Biology*, 18, p. R294–5.

Macneil C. et Dick J.T.A., 2011, "Parasite-mediated intraguild predation as one of the drivers of co-existence and exclusion among invasive and native amphipods (Crustacea)", *Hydrobiologia*, 665, p. 247-256.

Mouritsen K.N. et Jensen T., 2006, "The effect of *Sacculina carcini* infections on the fouling, burying behaviour and condition of the shore crab, *Carcinus maenas*", *Marine Biology Research*, 2, p. 270–275.

Sato T., Watanabe, K., Kanaiwa M., Niizuma Y., Harada Y. et Lafferty K.D., 2011, "Nematomorph parasites drive energy flow through a riparian ecosystem", *Ecology*, 92, p. 201–207.

Sato T. et *al*., 2012, "Nematomorph parasites indirectly alter the food web and ecosystem function of streams through behavioural manipulation of their cricket hosts", *Ecology Letters*, 15, p. 786–793.

Thomas F., Renaud F., De Meeûs T. et Poulin R., 1998, "Manipulation of host behaviour by parasites : ecosystem engineering in the intertidal zone ?", *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 265, p. 1091–1096.

3. 杀婴的血腥真相

Dieter Lukas, Elise Huchard, 2014, "The evolution of infanticide by males in mammalian societies", *Science*, 346, n° 6211, p 841-844.

Craig Packer, Anne E. Pusey, 1983, "Adaptations of Female Lions to Infanticide by

Incoming Males”, *The American Naturalist*, 121, n° 5, p. 716-728.

Jerry O.Wolff, David W. Macdonald, 2004, “Promiscuous females protect their offspring”, *Trends in Ecology and Evolution* 19, n° 3, p. 127-134.

Sarah Blaffer Hrdy, 1977, *The Langurs of Abu,* Harvard University Press, Cambridge, MA.

Sarah Blaffer Hrdy, 1979, “Infanticide among animals: A review, classification and examination of the implications of reproductive strategies of females”, *Ethology and Sociobiology* 1, n° 1, p. 13-40.

Stephen T. Emlen, Natalie J. Demong et Douglas J. Emlen, 1989, “Experimental Induction of Infanticide in Female Wattled Jacanas”, *The Auk*, 106, p. 1-7.

Jane Goodall, 1977, “Infant killing and cannibalism in free-living chimpanzees”, *Folia Primatologica*, 28, n° 4, p. 259-282.

Burney J. LeBoeuf, Kenneth T. Briggs, 1977, “The cost of living in a seal harem”, *Mammalia*, 41, n° 2, p 167-195.

Júlia Schmidt, András Kosztolányi, Jácint Tökölyi, Boglárka Hugyecz, Ildikó Illés, Rozália Király, Zoltán Barta, 2015, “Reproductive asynchrony and infanticide in house mice breeding communally”, *Animal Behavior* 101, p. 201-211.

Paul W. Sherman, 1981, “Reproductive Competition and Infanticide in Belding’s Ground Squirrels and Other Animals” In: *Natural Selection and Social Behavior: Recent research and New Theory*, Tinkle. New York and Concord, Chiron Press.

11. Jason S. Gilchrist, 2006, “Female eviction, abortion, and infanticide in banded mongooses (Mungos mungo): implications for social control of reproduction and synchronized parturition”, *Behavioral Ecology*, 17, n° 4, p. 664-669.

4. 救命的蓝血

Anderson R. L., Watson W. H., 3rd, et Chabot C. C., 2013, “Sublethal behavioral and physiological effects of the biomedical bleeding process on the American horseshoe crab, Limulus polyphemus”, *Biol. Bull.*, 225(3), 137-151.

Armstrong P., et Conrad M., 2008, “Blood collection from the American horseshoe crab, Limulus polyphemus”, *J. Vis. Exp.*(20).

Ding J. L. et Ho B., 2001, “A new era in pyrogen testing”, *Trends Biotechnol.*, 19(8), 277-281.

Iwanaga S., 2007, “Biochemical principle of Limulus test for detecting bacterial endotoxins”, Proc. Jpn. Acad. Ser. B. Phys. Biol. Sci., 83(4), 110-119.

Levin J. et Bang F. B., 1964, "A Description of Cellular Coagulation in the Limulus", *Bull Johns Hopkins Hosp.*, 115, 337-345.

Levin J. et Bang F. B., 1964, "The Role of Endotoxin in the Extracellular Coagulation of Limulus Blood", *Bull Johns Hopkins Hosp.*, 115, 265-274.

Levin J., Tomasulo P. A., et Oser R. S., 1970, "Detection of endotoxin in human blood and demonstration of an inhibitor", *J. Lab. Clin. Med.*, 75(6), 903-911.

Mamat U., Wilke K., Bramhill D., Schromm A. B., Lindner B., Kohl T. A., … Woodard R. W., 2015, "Detoxifying Escherichia coli for endotoxin-free production of recombinant proteins", *Microb. Cell. Fact.*, 14, 57.

Martich G. D., Boujoukos A. J., et Suffredini A. F., 1993, "Response of man to endotoxin", *Immunobiology*, 187(3-5), 403-416.

Opal S. M., 2010, "Endotoxins and other sepsis triggers", *Contrib. Nephrol.*, 167, 14-24.

Sanchez-Garcia L., Martin L., Mangues R., Ferrer-Miralles N., Vazquez E., et Villaverde A., 2016, "Recombinant pharmaceuticals from microbial cells: a 2015 update", *Microb. Cell. Fact.*, 15, 33.

Su W. et Ding X., 2015, "Methods of Endotoxin Detection", *J. Lab. Autom.*, 20(4), 354-364.

5. 蚁巢不分上下级

Darwin C., 1859, "Instinct" dans *l'Origine des espèces*, Darwin C., Ultraletters Publishing., pp. 228-258.

Beebe W., 1921, *Edge of the Jungle*, Henry Holt and Co. pp. 291-294.

Le courrier de la Nature, 2009, n° 250 spécial fourmis.

Couzin I. D., Franks N. R., 2002, "Self-organized lane formation and optimized traffic flow in army ants". *Proceedings of the Royal Society of London B.*, 270(1511), 139-146.

Hamilton W. D., 1964, "The genetical evolution of social behaviour I, II", *Journal of Theoretical Biology,* 7, 1-52.

Hasegawa E., Ishii Y., Tada K., Kobayashi K., Yoshimura J., 2016, "Lazy workers are necessary for long-term sustainability in insect societies", *Scientific reports*, 6, 20846.

Hughes O. W., Oldroyd B. P., Beekman M., "Ancestral monogamy shows kin selection is key to the evolution of eusociality", *Science*, 320, 1213-1216.

Jackson D. E., Châline N., 2007, “Modulation of pheromone trail strength with food quality in Pharaoh’s ant, Monomorium pharaonis”, *Animal Behaviour*, 74, 463-470.

Robinson E. J. H., Feinerman O., Franks N. R., 2009, “Flexible task allocation and the organization of work in ants”, *Proceedings of the Royal Society*, 276(1677), 4373-4380.

Ravary F., Lecoutey E., Kaminski G., Châline N., Jaisson P., 2007, “Individual experience alone can generate lasting division of labor in ants”, *Current Biology*, 17, 1308-1312.

Tofilski A., Couvillon M. J., Evison S. E. F., Helanterä H., Robinson E. J. H., Ratnieks F. L. W., 2008, “Preemptive defensive self-sacrifice by ant workers”, *The American Naturalist*, 172(5), E239-E243.

6. 最危险的救命恩人

Gabbatiss Josh, 05/04/2016, “Why some animals have venoms so lethal, they cannot use them”, *BBC earth*.

Diana Imhof, 2012, “Cone snail venom controls pain”, Press release, University of Bonn.

Cassia Pollock, 2015, “Scientists Make Anti-Diabetes Compound By Altering Protein in Lizard Venom”, *NBC San Diego*.

Julien Echterbille, 2013, “Les venins d’animaux, nouvelle panacée？”, *Athena* 291.

Holland Jennifer S., 2013, “Se soigner grâce au venin”, *National Geographic*.

Dr. Pierre Aldebert, 2009, “Poisons & Venins”, Chronique sur *RCF* (103.7), de février à juin 2009.

7. 麻雀虽小，脑子俱全

Alan H. Turner, Peter J. Makovicky, Mark A. Norell, 2007, “Feather Quill Knobs in the Dinosaur *Velociraptor”, Science,* 317, n° 5845, p. 1721.

Ahmed Belguermi et *al*., 2011, “Pigeons discriminate between human feeders”, *Animal Cognition*, 14, n° 6, p. 909-914.

Shigeru Watanabe, Junko Sakamoto, Masumi Wakita, 1995, “Pigeons’ discrimination of paintings by Monet and Picasso”, *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 63, n° 2, p.165-174.

Damian Scarf, Karoline Boy, Anelisie Uber Reinert, Jack Devine, Onur Güntürkün,

Michael Colombo, 2016, “Orthographic processing in pigeons (Columba livia)”, *Proceedings of the National Academy of sciences of the United States of America* 113, n° 40, p. 11272-11276.

Rosa Rugani, Laura Fontanari, Eleonora Simoni, Lucia Regolin, Giorgio Vallortigara, 2009, “Arithmetic in newborn chicks”, *Proceedings of the royal Society B*, 276, n° 1666, p. 2451-2460.

Nathan J. Emery, Amanda M. Seed, Auguste M. P. von Bayern, Nicola S. Clayton, 2007, “Cognitive adaptations of social bonding in birds”, *Philosophical transactions of the Royal Society B*, 362, n°1480, p. 489-505.

Robin I.M. Dunbar, 1998, “The social brain hypothesis”, *Evolutionary Anthropology*, 6, n° 5, p. 178-190.

Orlaith N. Fraser, Thomas Bugnyar, 2011, “Ravens reconcile after aggressive conflicts with valuable partners”, *Plos One,* 6, n° 3, e18118.

Irene M. Pepperberg, 2006, “Grey parrot numerical competence: a review”, *Animal Cognition*, 9, n° 4, p. 377-391.

Thomas Bugnyar, Kurt Kotrschal, 2002, “Observational learning and the raiding of food caches in ravens, Corvus corax: Is it “tactical deception”?”, *Animal behaviour*, 64, n° 2, p. 185-195.

Frans B. de Waal, 2008, “Putting the altruism back into empathy: the evolution of empathy”, *Annual Review of Psychology* 59, p. 279-300.

Nicola S.Clayton, Joanna M. Dally, Nathan J. Emery, 2007, “Social cognition by food-caching corvids. The western scrub-jay as a natural psychologist”, *Philosophical transactions of the royal society B*, 362, p. 507-522.

Doris Bischof-Köhler, 1991, “The development of empathy in infants”, In *Infant Development: Perspectives from German speaking countries*, M.E. Lamb et H. Keller Eds, Hillsdale, Lawrence Erlbaum: 245-273.

Thomas Suddendorf, David L. Butler, 2013, “The nature of visual self-recognition”, *Trends in Cognitive science*, 17, n° 3, p. 121-127.

Helmut Prior, Ariane Schwarz, Onur Güntürkün, 2008, “Mirror-induced behavior in the macpie (*Pica pica*): evidence of self-recognition”, *Plos Biology*, 6, n° 8, e202.

Jane Van Lawick-Goodall, 1971, “Tool-using in primates and other vertebrates”, *Advances in the Study of Behavior*, 3, p. 195-249.

Gavin R. Hunt, Russel D. Gray, 2003, “Diversification and cumulative evolution

in New caledonian crow tool manufacture”, *Proceedings of Royal society B*, 270, n° 1517, p. 867-874.

8. 侏罗纪公园

Sébastien Steyer, Alain Bénéteau, 2010, *La Terre avant les dinosaures*, Belin.

Jean Le Loeuff, 2016, *T. rex superstar*, Belin.

Marie Laure Le Louarn Bonnet, Arnaud Salomé, Alain Bénéteau, 2015, *Sur les traces des dinosaures à plumes*, Belin.

9. 谢谢你，病毒！

Avindra Nath et *al*., 2015, “First international workshop on human endogenous retroviruses and diseases, HERVs & disease 2015”, *Mobile DNA*.

Peter K. Vogt, 2012, “Retroviral Oncogenes: A Historical Primer”, *Nature reviews Cancer*, 12/9, 639-648.

International Human Genome Sequencing Consortium, 2001, “Initial sequencing and analysis of the human genome.”, *Nature*, 409, 860-921.

A. Dupressoir et *al*., 2012, “From ancestral infectious retroviruses to bona fide cellular genes: Role of the captured syncytins in placentation.”, *Placenta*, 33, 663-671.

Yufei Zhang et *al*., 2015, “Recent advances in the study of active endogenous retrovirus envelope glycoproteins in the mammalian placenta”, *Virologica Sinica*, 30/4, 239-248.

10. 植物不为人知的才能

Alpi et *al*., 2007, “Plant neurobiology: no brain, no gain?”, *Trends in Plant Science*, Vol. 12, n° 4, p. 135-136.

Appel H. M., Cocroft R. B., 2014, “Plant respond to leaf vibration caused by insect herbivore chewing”, *Oecologia*, Vol. 175, p. 1257-1266.

Baluška F., Levin M., 2016, “On having no head: cognition throughout biological systems”, *Frontiers in Psychology*, Vol. 7, Article 902.

Brenner et *al*., 2006, “Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling”, *Trends in Plant Science*, Vol. 11, n° 8, p. 413-419.

Gagliano M., 2013, "Green symphonies: a call for studies on acoustic communication in plants", *Behavioral Ecology*, 24(4), p. 789-796.

Gagliano M., 2013, "The flowering of plant bioacoustics: how and why". *Behavioral Ecology*, 24 (4), p. 800-801.

Gagliano M. et *al*., 2012, "Towards understanding plant bioacoustics", *Trends in Plant Science*, volume XVII, Issue 6, p323–325.

Gagliano M. et *al*., 2012, "Acoustic and magnetic communication in plants: is it possible?", *Plant Signaling and Behavior*, Vol. 7, p. 1346-1348.

Gagliano M. et *al*., 2012, "Out of sight but not out of mind: alternative means of communication in plants", *PLoS ONE*, Vol. 7, issue 5, e37382.

Lev-Yadun S., 2013, "The enigmatic fast leaflet rotation in Desmodium motorium: butterfly mimicry for defense?", *Plant Signaling & Behavior*, Vol. 8, issue 5, e24473.

Trewavas A., 2007, "Reponse to Alpi et *al*.: Plant neurobiology – all metaphors have value", *Trends in Plant Science*, Vol. 12, n° 6, p. 231-233.

Michel Thellier, *Les plantes ont-elles une mémoire?*, 2015, éditions Quae.

Catherine Lenne, *Dans la peau d'une plante*, 2014, Belin.

11. 植物的小暖炉

Meeuse B.J.D., 1975, "Thermogenic respiration in Aroids". *Ann. Rev. Plant Physiol*. 26: 117-26.

Hopkins W.G., 2003, *Physiologie végétale*, Traduction de la 2[de] édition américaine par S. Rambour, DeBoeck édition.

Ito-Inaba Y., Hida Y., Inaba T., 2009, "What is critical for plant thermogenesis? Differences in mitochondrial activity and protein expression between thermogenic and non-thermogenic skunk cabbages", *Planta*, 231: 121-130.

Wang R., Zhang Z., 2015, "Floral thermogenesis: An adaptive strategy of pollination biology in Magnoliaceae", *Communicative & Integrative Biology*, 8:1.

Grabelnych O.I., Kolesnichenko A.V., Pobezhimova T.P., Tourchaninova V.V., Korzun A.M., Koroleva N.A., Zykova V.V., Voinikov V.K., 2003, "The role of different plant seedling shoots mitochondrial uncoupling systems in thermogenesis during low-temperature stress", *Journal of Thermal Biology*, 28: 571–580.

Ozheredova I. P., Parnikoza I. Yu., Poronnik O. O., Kozeretska I. A., Demidov S. V.,

Kunakh V. A., 2015, "Mechanisms of Antarctic Vascular Plant Adaptation to Abiotic Environmental Factors", *Cytology and Genetics*, 49(2)139–145.

Seymour R. S., Matthews P. G. D., 2006, "The Role of Thermogenesis in the Pollination Biology of the Amazon Waterlily Victoria amazonica", *Annals of Botany* 98 : 1129–1135.

Giberneau M., Barabé D., "Des fleurs à sang chaud", *Pour la Science* n° 359, septembre 2007.

12. 瓶中世界

"The world passes 400ppm threshold. Permanently" Bryan Kahn, Climate Central, 27 sept 2016.

David Wilkes, "Thriving since 1960, my garden in a bottle : Seedling sealed in its own ecosystem and watered just once in 53 years", le 24 janvier 2013. Site du *Dailymail*.

Lisa Welp, Ralph Keeling, "Now what ?", le 20 mai 2013. Site du *Scripps Institution of Oceanography*.

Allen J.P., Nelson M., Alling A., 2003, "The legacy of biosphere 2 for the study of biospherics and closed ecological systems". 1O.l016/SO273-1177(03)00103-0, *Ecotechnics*.

Servigne P., Stevens R., 2015, *Comment tout peut s'effondrer*, Seuil.

Jared M. Diamond, 1997, *Guns, Germs and Steel : the fates of human societies*, W.W. Norton.

Jared M. Diamond, 2009, *Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie,* Folio.

John M. Drake and Blaine D.Griffen, 2010, "Early warning signals of extinction in deteriorating environments", *Nature* numéro 467.

13. 植物会沟通，"说"得还不少

Ian T. Baldwin, Jack C. Schult, 1983, "Rapid Changes in Tree Leaf Chemistry Induced by Damage : Evidence for Communication Between Plants", *Science*, Vol. 221, p. 277-279.

Catherine Lenne, Olivier Bodeau, Bruno Moulia, avril 2014, "Percevoir et bouger : les plantes aussi ! ", *Pour la Science*, Vol 438.

P.W. Paré, J.H. Tumlinson, 1997, "Induced synthesis of plant volatiles", *Nature*, Vol. 385, p. 30.

Anne-Marie Cortesero, Eric Thibout, novembre 2004, "Des insectes gardiens de plantes", *La Recherche*, Université de Rennes, Vol. 380, p. 54-58.

Jean-Marie Pelt, 1998, *Les langages secrets de la nature*, Fayard.

14. 救命的蓝血

Leigh R. Hochberg et *al*., 2006, "Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia", *Nature* 442, 164-171 (13 July 2006).

Leigh R. Hochberg et *al*., 2012, "Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm", *Nature*, 485, 372–375.

Kosmyna N, Tarpin-Bernard F., Rivet B., 2014, "Drone, your brain, ring course-accept the challenge and prevail!", *UbiComp 2014 - Adjun Proc 2014 ACM Int Jt Conf Pervasive Ubiquitous Comput*: 243–246.

Rao RPN, Stocco A., Bryan M., Sarma D., Youngquist T.M., Wu J. et *al*., 2014, "A Direct Brain-to-Brain Interface in Humans", *PLoS ONE* 9(11): e111332.

帕金森病和脑深部刺激术

Conférence d'Andres Lozano.

Coffey R.J., 2009, "Deep brain stimulation devices: a brief technical history and review", *Artificial Organs*, vol. 33, no 3, mars 2009, p. 208–20.

脑机接口

Vidal J.J., "Toward Direct Brain-Computer Communication", *Annual Review of Biophysics and Bioengineering 2*: 157–80.

脑电图利用前景

Barnett M.W., Larkman P.M., 2007, "The action potential", 2007, *Practical Neurology 7*: 192–197.

Sherwood L., 2000, *Physiologie humaine*, De Boeck.

15. 金属乐使人平静

Sharman L et Dingle GA, 2015, "Extreme metal music and anger processing", *Front. Hum. Neurosci*., 9:272., DOI: 10.3389/fnhum.2015.00272.

"I will cut your throat, I will kick your face in", extrait du primesautier *Night of the*

Long Knives de Marduk (*World Funeral*, 2003), l'un des morceaux écoutés par l'un des participants lors du test.

N. Guéguen, 2016, "Comment les chansons nous manipulent", *Cerveau & Psycho*, n° 76, avril 2016.

John F. Mast et Francis T. McAndrew, 2011, "Violent Lyrics in Heavy Metal Music Can Increase Aggression in Males" *North American Journal of Psychology*, 2011, Vol. 13, No. 1, 63-64.

Tasha R. Howe *et al.,* 2015, "Three Decades Later: The Life Experiences and Mid-Life Functioning of 1980s Heavy Metal Groupies, Musicians, and Fans", *Self and Identity*, 14:5, 602-626.

Rodney M. Schmaltz, 2016, "Bang your Head : Using Heavy Metal to promote Scientific Thinking in the Classroom", *Front. Psychol.*, 7:146.

16. 大脑不是用来思考的

Stedman et *al*., 2004, "Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage", *Nature*, 428 : 415.

David Robson, "A brief history of the brain", *New Scientist*, 21/09/2011.

Guillaume Lecointre, Hervé Le Guyader, 2016 (vol.1) et 2017 (vol.2), *Classification phylogénétique du vivant*, 4e édition, Belin.

Richard Dawkins, 1976, *Le gène égoïste*, Odile Jacob.

17. 我们真的只用了 10% 的大脑吗?

James W., 1907, "The energies of men", *Science*, 25/635, p. 321-332.

Gowdy L.N., 2013, *Myths, facts, and lies about prodigies - a historiography of William James Sidis*, Woven Strings Publishing.

Carnegie D., 1964, *How To Win Friends And Influence People*, Simon and Schuster.

Lashley K.S., 1931, "Mass action in cerebral function", *Science*, 73/1888, p. 245-254.

Penfield W. et Rasmussen T., 1950, *The cerebral cortex of man*, Macmillan.

Fisher R.S. et *al*., 2005, "Epileptic seizures and epilepsy : definitions proposed by the International League Against Epilepsy and the International Bureau for Epilepsy", *Epilepsia*, 46/4, p. 470-472.

Tritsch D., Chesnoy-Marchais D., Feltz A., 1999, *Physiologie du neurone*, Doin.

Nedergaard M., Ransom B., Goldman S.A., 2003, "New roles for astrocytes: redefining the functional architecture of the brain", *Trends in Neuroscience*, 26/10, p. 523–530.

Hilgetag C.C. et Barbas H., 2009, "Are there ten times more glia than neurons in the brain?", *Brain structure and function*, 213/4, p. 365-366.

"Évolution: de l'origine de la vie aux origines de l'Homme", 2003, Site des dossiers scientifiques sagascience du CNRS, consulté le 25 octobre 2016.

Brown G.C., 1999, *The energy of life: the science of what makes our minds and bodies work*, Simon and Schuster.

Schafer D.P. et *al*., 2012, "Microglia sculpt postnatal neural circuits in an activity and complement-dependent manner", *Neuron*, 74/4, p. 691-705.

Sacks O., 1992, *L'homme qui prenait sa femme pour un chapeau*, Éditions du Seuil.

Pasquinelli E., 2012, "Neuromyths: why do they exist and persist?", *Mind, brain, and education*, 6/2, p. 89-96.

18. 嬉皮也暴力

Courbet, D. & Fourquet-Courbet M.-P. (2014), "L'influence des images violentes sur les comportements et sur le sentiment d'insécurité chez les enfants et les adultes", *Rapport Technique de Recherches*, Université d'Aix-Marseille, IRSIC.

Joy, L.A., Kimball, M.M. & Zabrack, M.L. (1986). "Television and children's aggressive behavior". In T.M. Williams (Ed.), *The Impact of television: A natural experiment in three communities* (pp.303-360). Orlando, FL: Academic Press, Inc.

Rapport Insee sur le temps consacré à regarder la télévision selon l'âge et la catégorie socioprofessionnelle en 2012.

Leon Mann, "The baiting crowd in episodes of threatened suicide", *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 41, no 4, octobre 1981, p. 703–9.

"Communication via Internet et dynamiques identitaires: une analyse psychosociale", J. Guegan, E. Michinov – *Psychologie française*, 2011 – Elsevier.

"Deindividuation and valence of cues: Effects on prosocial and antisocial behavior". Johnson, Robert D.; Downing, Leslie L. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol 37(9), Sep 1979, 1532-1538.

Bègue, 2011, "Milgram revient en France?", Cortecs [En ligne].

Bègue, L. 2003, "Comportements violents et télévision" dans *Enquête de sécurité:*

Causes de la délinquance et nouvelles réponses, S. Roché, A. Colin. 315-332.

Bègue, L. 2011, “Jeux vidéo : l’école de la violence ? ”, *Cerveau&Psycho, L’Essentiel* n° 8, 14-20.

Bègue, 2011, “Milgram revient en France?”, Cortecs.

Bègue, L., Beauvois, J-L., Courbet, D., Oberlé, D., 2011, “Psychologie de la soumission à l’autorité”, Cortecs.

Désert, M. 2012, *Les facteurs à l’origine des comportements agressifs*. Recueil inédit, Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

Desmurget, M. 2011, “La télévision creuset de la violence”, *Cerveau&Psycho, L’Essentiel* n° 8, 8-13.

Fiske, S. T., 2008, *Psychologie sociale* (1re éd., p. 444-486 ; traduit par V. Provost et S. Huyghues Despointes, révision scientifique de J-P. Leyens), De Boeck.

19. 恐惧也遗传

Brian G. Dias & Kerry J. Ressler, “Parental olfactory experience influences behavior and neural structure in subsequent generations”*, Nature Neuroscience* 17, 89–96 (2014).

I. Donkin, S. Versteyhe *et al.,* “Obesity and Bariatric Surgery Drive Epigenetic Variation of Spermatozoa in Humans”*, Cell Metabolism,* 2016.

R. Barrès. “Tournant en biologie : je suis le vécu de mes ancêtres”*, The Conversation,* 2015.

R. Yehuda *et al.*, “Holocaust Exposure Induced Intergenerational Effects on FKBP5 Methylation”*, Biological Psychiatry*, 2015.

20. 胚胎细胞侵占母亲大脑

Chan W. F. N. et *al*., 2012, “Male Microchimerism in the Human Female Brain”, *PLoS ONE*, 07/9, e45592.

Minai-Tehrani A. et *al*., 2016, “Existence of Microchimerism in Pregnant Women Carrying a Boy”, *J. Reprod. Infertil*, 17/1, 64-65.

Peterson S. et *al*., 2013, “Fetal cellular microchimerism in the miscarriage and pregnancy termination”, *Chimerism*, 04/4, 136-138.

Rijnink E. et *al*., 2015, “Tissue microchimerism is increased during pregnancy : a

human autopsy study”, *Molecular Human Reproduction*, 21/11, 857-864.

Kara R. J. et *al*., 2012, “A Mouse Model for Fetal Maternal Stem Cell Transfer During Ischemic Cardiac Injury”, *Clinical and Translational Science*, 5/4, 321-328.

Bozorg-Ghalati, 2015, “A Survey on the Role of Fetal Microchimerism in the Maternal Body”, *Journal of Advanced Medical Sciences and Applied Technologies*, 1/2, 68-77.

Khosrotehrani K. et *al*., 2004, “Transfer of Fetal Cells with Multilineage Potential to Maternal Tissue”, *Journal of The American Medical Association*, 292(1), 5-79.

Michaeli T. F. et *al*., 2015, “Rejuvenating effect of pregnancy on the mother”, *Fertility and Sterility*, 103/5, 1125-1128.

Boddy A. M. et *al*., 2015, “Fetal microchimerism and maternal health: a review and evolutionary analysis of cooperation and conflict beyond the womb”, *Bioessays*, 37, 1106-1118.

21. 被咬也会得癌症：至少一种癌症如此

Elaine A. Ostrander, Brian W. Davis et Gary K. Ostrander, 2016, “Transmissible Tumors: Breaking the Cancer Paradigm”, *Trends in Genetics,* Volume 32, 1-15.

Elizabeth P. Murchison *et al.*, 2010, “The Tasmanian Devil Transcriptome Reveals Schwann Cell Origins of a Clonally Transmissible Cancer”, *Science*, Volume 327, 84-87.

Hannah V. Siddle *et al.*, 2013, “Reversible epigenetic down-regulation of MHC molecules by devil facial tumour disease illustrates immune escape by a contagious cancer”, *PNAS*, Volume 110, 5103-5108.

Brendan Epstein *et al.*, 2016, “Rapid evolutionary response to a transmissible cancer in Tasmanian devils”, *Nature Communications*, ncomms12684.

22. 几行代码重塑生命

C. Langton, *Studying artificial life with cellular automata*, 1986.

John Von Neumann et Arthur W. Burks, *Theory of self-reproducing automata*, 1966.

Ingo Rechenberg, *Kybernetische losungsansteuerung einer experimentellen forschungsaufgabe*, 1964.

Jordan B.Pollack et Hod Lipson, *The GOLEM project: Evolving hardware bodies and brains*, 2000.

Hiroki Sayama, *Toward the Realization of an Evolving Ecosystem on Cellular Automata*, 1999.

23. 从出生到死去，我们的身高一直在变！

R. J. Rona and S. Chinn, 1995, “Genetic and environmental influences on growth.,” *J. Med. Screen.*, vol. 2, pp. 133–139.

D. C.-Q. Lai, 2006, “How much of human height is genetic and how much is due to nutrition？” *Scientific American*.

F. Delormas, “Le sommeil et les rythmes de l’enfant.”

eLife, “A century of trends in adult human height,” *Elife*, vol. 5, pp. 1-29, 2016.

F. Canavese and A. Dimeglio, 2013, “Normal and abnormal spine and thoracic cage development”, vol. 4, no. 4, pp. 167-174.

I. Villemure and I. a F. Stokes, 2009, “Growth plate mechanics and mechanobiology. A survey of present understanding.,” *J. Biomech.*, vol. 42, no. 12, pp. 1793-803.

G. Vicente-rodrigez, 2006, “How does Exercise Affect Bone Development during Growth?,” *Sport. Med.*, vol. 36, no. 7, pp. 561-569.

M. C. Erlandson, L. B. Sherar, R. L. Mirwald, N. Maffulli, and A. D. G. Baxter-Jones, 2008, “Growth and maturation of adolescent female gymnasts, swimmers, and tennis players,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 40, no. 1, pp. 34-42.

A.-L. Ménard, 2015, *Étude comparative de différents profils de compression dynamique, et de l’application suivie du retrait subséquent de compression statique versus dynamique sur la croissance osseuse et le disque intervertébral : études in vivo chez le rat,* Polytechnique Montreal.

K. Briot, E. Legrand, D. Pouchain, S. Monnier, and C. Roux, 2010, “Accuracy of patient-reported height loss and risk factors for height loss among postmenopausal women,” *Cmaj*, vol. 182, no. 6, pp. 558–562.

D. J. Cook, G. H. Guyatt, J. D. Adachi, J. Clifton, L. E. Griffith, R. S. Epstein, and E. F. Juniper, 1993, “Quality of life issues in women with vertebral fractures due to osteoporosis,” *Arthritis Rheum.*, vol. 36, no. 6, pp. 750-756.

24. 封路治拥堵

1. G. Kolata. “What if they closed 42nd Street and nobody noticed？”, *New York*

Times, 25 décembre 1990.

2. D. Braess: “Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung”. *Unternehmensforschung* 12, 258–268 (1968).

3. T. Roughgarden and E. Tardos: “How Bad is Selfish Routing?”, *FOCS 2000/JACM 2002*.

4. G. Valiant and T. Roughgarden: Braess’s Paradox in Large Random Graphs, *EC ‘06*.

5. Young H., Jeong H. et Gastner M. T., “The Price of Anarchy in Transportation Networks: Efficiency and Optimality Control,” *Physical review letters*, 2008 - APS.

25. π 是错的！

Palais Robert, 2001, “π Is wrong!” *The mathematical intelligencer* 23.3: 7-8.

26.《花花公子》杂志对计算机科学的启发

Lai-Man Po, 1997, “Lenna 97: A Complete Story of Lenna”.

Jamie Hutchinson, 2001, “Culture, Communication, and an Information Age Madonna”, *IEEE Professional Communication Society Newsletter*, volume 45 numéro 3.

27. 互联网才不是 21 世纪最伟大的发明

Walter Isaacson, 2015, *The innovators*, Simon & Schuster.

Tim Berners-Lee, 2000, *Weaving the Web*, Harper Business.

John Naughton, 2012, *From Gutenberg to Zuckerberg: What you really need to know about the Internet*, Quercus Publishing.

Paul Graham, 2010, *Hackers & Painters*, O’Relly.

28. 逆流之电

Paul Israel, 2000, *Edison: a Life of Invention*, John Wiley & Sons, p. 17.

Paul Israel, 2000, *Edison: a Life of Invention*, John Wiley & Sons, p. 168.

Paul Israel, 2000, *Edison: a Life of Invention*, John Wiley & Sons, p.171.

Paul Israel, 2000, *Edison: a Life of Invention*, John Wiley & Sons, p.217-218.

Bernard W. Carlson, 2015, *Tesla - Inventor of the Electrical Age*, Princeton University Press, p. 52.

Bernard W. Carlson, 2015, *Tesla - Inventor of the Electrical Age*, Princeton University Press, p. 63.

Marc J. Seifer, 1998, *Wizard : The life and times of Nikola Tesla*, Citadel Press, p. 30

"A new system of alternating current motors and transformers" by Nikola Tesla Delivered before the American Institute of Electrical Engineers", May 1888.

Bernard W. Carlson, 2015, *Tesla - Inventor of the Electrical Age*, Princeton University Press, p. 167.

Marc J. Seifer, 1998, *Wizard : The life and times of Nikola Tesla,* Citadel Press, p. 57.

Charles Rivers Editors, 2013, *Thomas Edison & Nikola Tesla: The pioneers of Electricity*, CreateSpace Independent Publishing Platform.

29. 恒星"适居带"之外的生命

Sean Bailly, "Une exoplanète de taille terrestre dans la zone habitable", *Pour la Science*, avril 2014.

T. Encrenaz, J. Lequeux, *L'exploration des planètes*, Belin, 2014.

James F. Kasting et *al*., *Habitable Zones around Main Sequence Stars*, Icarus Volume 101, Issue 1, January 1993, pp.108-128.

E. Quintana *et al*., 2014, *"An Earth-sized planet in the habitable zone of a cool star", Science*, vol. 344, pp. 277-280.

Stephen R. Kane *et al.*, 2016, "A catalog of Kepler Habitable Zone Exoplanet candidates", *The Astrophysical Journal,* Volume 830, N° 1.

M. M. Hedman *et al.*, 2013, "An observed correlation between plume activity and tidal stresses on Enceladus", *Nature* 500, 182–184.

Ondrej Cadek *et al.,* 2016, "Enceladus's internal ocean and ice shell constrained from Cassini gravity, shape and libration data", *Geophysical Research Letters*.

K. M. Soderlund *et al.,* 2014, "Ocean-driven heating of Europa's icy shell at low latitudes"*, Nature Geoscience* 7, 16–19.

W. B. Sparks *et al.*, 2016, "Probing for evidence of plumes on Europa with HST/STIS"*, The Astrophysical Journal*, Volume 829, Number 2.

30.（伪）后记：如何确立一种理论

John Vickers, "The Problem of Induction", 15 novembre 2006.
Igor Douven, "Abduction", 9 mars 2011.
Nelson Goodman, 1985, *Faits, fictions et prédictions*, Les Éditions de Minuit.
Karl Raimund Popper, 1989, *La logique de la découverte scientifique*, Payot.

作者简介



马丁·杜特莱（sirtin）

主持人、科普作者、博主、传媒主管，对一切都感兴趣，不管是科学还是科普周边。总之，样样通，门门松！



皮埃尔·凯尔奈（ssaft）

进化生物学高级讲师，网名Taupo，“怪事奇闻”博主，潜心研究我们身边美丽又恶心的大自然……主要是恶心。



阿德里安·德米伊

专门研究古怪动物的生物学家，从实验台到绘画板，带着虫子们一路走来。



梅尔

巴黎郊区的地球及生命科学教授，时不时也画些幽默插画，喜欢把科学和科学界的故事画出来。



埃米莉·内沃

博客 Sense the Science 博主。感受科学，亦梦亦真，知识与感觉、科研与社会，甚至所有学科之间都可以互相渗透……没错，一切都是渗透。



索菲·拉博德（fish-dont-exist）

攻读博士 3 年，研究能操控宿主的寄生虫和它们的邪恶伎俩——最喜欢聊这个！



斯特凡纳·德博夫

绰号"跳舞的手"，以绘画和定格动画制作科普视频，一切靠手表现。来看看早餐中的物理学和你最多能交多少个朋友吧。



莱伊拉·亚辛（leilayassineart）

地球及生命科学教师，最近迷上了插画和动漫，但更偏爱科学。



阿加莎·利埃万－巴赞（leniddepie）

绰号"喜鹊窝"，动物生态学博士，绘画爱好者，喜欢一本正经地论述水獭的花招、鸭子的淫乱、鸮鹦鹉的空气动力学……博客里都是关于动物的小文章。



巴蒂斯特・库朗热

网名 NicoTupe，“科学播客”（PODCAST SCIENCE）创始人。这是一档线上科普广播节目，每周更新一次，话题广泛，比如选举、黑洞、创造性。但库朗热其实是一名数学家！



安娜丽莎・普莱塔诺

她管自己叫“露德米拉”（Ludmilla），生物学专家、科普作者，既卖字为生，也做培训和教学，喜欢转换各种角色进行科普。



纪尧姆・蒙南（thefunseeds）

又称“西迪奥斯教授”。童年时受到动画片《第四维》的影响，“西迪奥斯教授”拿起笔就能将科学时事画成漫画，科学评论、幽默故事、混乱事态、创新科技……无所不能！一本正经，绘声绘色！



BrainWhy

揭开大脑之谜的 BrainWhy 频道。



"撞头科学"（head banging science）

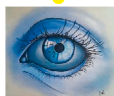
达尔文与朋克摇滚、喜马拉雅山上的神奇叙利亚死尸、考古学和 8 字形松饼之间的明显联系，还有乌贼的精液……让人撞头的科学。



菲伊普

爱画兔子的无厘头画家，著有《办公室兔子》系列漫画，啰哩啰嗦地已经出了 7 卷，并成为兔子出版社的编辑。现住在法国东南部的维勒班，身边除了漫画就是兔子。





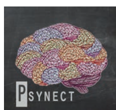
帕斯卡尔・博热

工艺工程博士和工程师、教师、技术顾问。从 2007 年起开始写博客，在"世界与我们"和 Kidi' science 上玩得很开心。他 15 岁的儿子瓦朗坦为其画插图。瓦朗坦也创建了自己的博客"到我脑子里一游"（trip into my head）。



安托万・布朗夏尔（enroweb）

从 2006 年开始搜集各种科研小漏洞，为科学和社会的争论不断燃烧！



皮埃里克·索宗

创建行为科学的科普频道 Psynect，目标是阐述人类如何运作，以及那些在不知不觉中控制我们思维的可怕机制。



樊尚·朱迪切

遗传学博士，地球及生命科学教授，想通过博客 Kidi'science 和“科学之下”（dessous des sciences）把自己对科学的热爱传递给 1 至 99 岁的孩子。他的格言是:“为科学服务，是最开心的事。”



QWRK

怎么一眼分辨出真理和谬论？其实我们分不出，因为各种论据实在很乱。QWRK 希望通过视频频道“菌丝体”，找出这些发霉的论据。



“斜原木”

托马斯·C. 迪朗，网名 Acermendax，努力普及科学方法和批判精神，现在“科学及批判精神传播协会”工作——这很符合逻辑。



莉迪·布洛蒂埃

“博学猫头鹰日报”(le journal des chouettes savantes)博客主编。大自然很美，这是肯定的，但它也时常古怪而扭曲。想在朋友聚会时用知识碾压众人？来“博学猫头鹰日报”看看吧。



大卫·洛雷罗

通过“阅读科学”(lisez la science)博客介绍科普书籍，激发大家读书的欲望：科学史、生物学、天体物理学、数学，应有尽有！



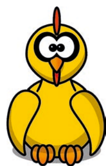
蒂蒂

在“蒂蒂的实验室”(le labo de diti)，大家谈论基因、蛋白质、细胞和各种疾病。实验台上总有一块地方可以玩“吸管”游戏，随意画些关于生物的小画！



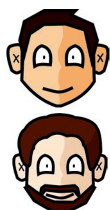
“灰质”

四个人因同一个目标聚集到一起——分享病态的好奇。开动神经元，提出问题，让好奇心更敏锐。如果好奇心是坏事，那这几个人还真是满肚子坏水！



鲍里斯·多梅内奇

园艺和植物进化的终生学生，一直为植物着迷。这些无处不在的非凡生物，来看看它们的隐秘世界吧。



大卫和西蒙

两位博士在“人工生命”（vie artificielle）播客和 Xil’Cast 频道与大家分享自己热爱的东西，比如自然选择、历史和信息学……



克里斯托夫·罗多

神经科学青年学者和科普作者，在研究笔记“大脑黑话”（cervenargo）上分享大脑的惊人秘密。



维维亚娜·拉朗德

看过 Scilabus 的视频，再看日常完全不一样，朋友聚会时也能成为众人焦点，赌一下？



黎阮宏（Lê Nguyên Hoang）

Science4All 力求永远比传统科普走得远一些，带你发现物理和数学最美丽的角落。



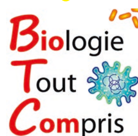
埃里克·莱韦里克

炸裂、失败、思考、玩笑、每天一点科学只是，"青蛙斯普劳驰"（sproutch la grenouille）让你的脑子动起来。



阿兰·贝内托（dustdevil）

科普书籍插画家，专画古生物。



塔尼娅·路易

生物学博士，热爱科学，忍不住要与人分享，因为"生物学的一切"太令人着迷。



Goana

Goana 讲什么？生物学，解释生物界如何运作。这个世界是几十亿年进化的产物，也是一连串偶然事件的结果！网上可以找到同名视频合集。



"在天上"（Ça se passe la haut）

真名叫埃里克·西蒙。在天上，宇宙无休止地注视着自己，所以我们在地上也可以无限制地读到、听到当前的天体物理学研究趣闻。

“科学咖啡馆”（Café des sciences）是法国知名的科普博客，聚集了大批年轻科研工作者、教师、科普爱好者、插画家和漫画家。他们不断更新各种风格幽默、内容严谨的科普小品文。自创办以来，“科学咖啡馆”赢得了法语国家爱好科学的读者的大力推崇，成为中学生、大学生、教师和科研人员喜爱、信赖的知识交流平台。

王烈，北京外国语大学法语系毕业，中国环球电视网法语频道编辑记者，数学和物理爱好者。译有《数学也荒唐：20个脑洞大开的数学趣题》。

你百分之百确信的"常识"，科学却告诉你：那可不一定！

这本书用30个严肃又离奇的科学故事，重新定义你眼中的"常识"。法国广受欢迎的科普平台"科学咖啡馆"用幽默的文字、有趣的漫画讲述了生物学、脑科学、数学、计算机科学等领域中的咄咄怪事。



科学脑洞视频自媒体 **薛定饿了么** 隆重推荐

对于人生中的大部分问题，我们都是靠直觉和常识来解决的。但是，面对那些稀奇古怪、超乎寻常的问题，直觉和常识往往不堪一击，比如：

血液都是红色的吗？

豪猪一身刺，那它们怎样寻欢作乐？

如果整个数学体系被重写，那么π还会出现吗？

……

在"哐当哐当"的地铁上，或在烟雾缭绕的花洒下，我们可能会突然冒出类似的脑洞问题。这时，我们不免有点沾沾自喜："我能想到这些问题，一定是天赋异禀吧？"

那就请你翻开这本书，跟随一个个神奇的故事，为你的"天赋"找个科学的落脚点吧！

图灵社区：iTuring.cn
反馈/投稿/推荐邮箱：contact@turingbook.com
读者热线：(010) 51095186-600
分类建议 科普/自然百科
人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn



ISBN 978-7-115-48361-4
定价：65.00元

看完了

如果您对本书内容有疑问，可发邮件至 contact@turingbook.com，会有编辑或作译者协助答疑。也可访问图灵社区，参与本书讨论。

如果是有关电子书的建议或问题，请联系专用客服邮箱: ebook@turingbook.com。

在这可以找到我们:

微博 @图灵教育 : 好书、活动每日播报
微博 @图灵社区 : 电子书和好文章的消息
微博 @图灵新知 : 图灵教育的科普小组
微信 图灵访谈 : ituring_interview，讲述码农精彩人生
微信 图灵教育 : turingbooks